



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

ENERGY USE OF BIOMASS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK BUDIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Budiš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické využití biomasy

v anglickém jazyce:

Energy use of biomass

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student zmapuje možnosti využití biomasy pro energetické účely.

Cíle bakalářské práce:

1/ rešerší získat přehled biomasy - vlastnosti, druhy, výskyt

2/ zmapovat technologie přeměny biomasy

Seznam odborné literatury:

Jandačka, J. Malcho, M. Mikulík, M.: Biomasa jako zdroj energie. Žilina 2007, ISBN 978-80-969161-3-9
internetové zdroje

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 27.10.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato závěrečná práce, vyhotovená v rámci bakalářského studia Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, se zabývá literární rešerší na téma energetické využití biomasy. První část práce se věnuje biomase, jejímu vzniku a pěstování. Druhá část se zaměřuje na biomasu vhodnou k energetickým účelům. Podrobně je popsána úprava biomasy pro energetické účely a jednotlivé technologie přeměn této biomasy za účelem získávání energie.

Klíčová slova: Biomasa, energie, pyrolýza, zplyňování, spalování, fermentace, esterifikace, pelety, brikety

Abstract

This final work, written in the bachelor degree on the Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, is engaged in literary research on the use of biomass energy. The first part deals with biomass, its origin and cultivation. The second part focuses on biomass suitable for energy purposes. Is described in detail adjustment of biomass for energy purposes, and various technologies conversion of biomass to generate energy.

Index term: Biomass, energy, pyrolysis, gasification, combustion, fermentation, esterification, pellets, briquettes

Bibliografická citace

BUDIŠ, M. *Energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité zdroje a prameny.

V Brně dne:.....

Podpis:.....

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat všem pracovníkům Fakulty strojního inženýrství za znalosti a praktické zkušenosti mně předané. Poděkování patří také panu Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce, a v neposlední řadě mé rodině a všem, kteří mě při studiu podporovali.

Obsah

1	Úvod	11
2	Biomasa, její definice, vznik a význam	11
2.1	Základní podmínky vzniku biomasy	12
2.2	Fotosyntéza	12
2.3	Rychlost fotosyntézy	13
2.4	Význam fotosyntézy.....	14
2.5	Stručný popis koloběhu uhlíku.....	14
2.6	Faktory přírodních podmínek pro pěstování biomasy	16
2.7	Plochy využitelné pro pěstování kulturních plodin v ČR.....	16
2.8	Biomasa-obnovitelný zdroj energie	17
3	Biomasa vhodná pro energetické využití	17
3.1	Dřevo a dřevní odpad	18
3.2	Spalitelné obilí	21
3.3	Organické průmyslové a potravinářské odpady	22
3.4	Biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely	23
4	Mechanická úprava a zpracování biomasy	24
4.1	Mechanická úprava pevných biopaliv	24
4.1.1	Stříhání.....	24
4.1.2	Štěpkování	24
4.1.3	Drcení.....	27
4.1.4	Paketování.....	28
4.2	Mechanická úprava energetických stébelnin	29
4.2.1	Lisování	29
4.2.2	Briketování a peletování suchých stébelnin.....	31
4.3	Mechanická úprava rychle rostoucích dřevin	31
5	Možnosti energetického využití biomasy	32
6	Vlastnosti biomasy	32
6.1	Vlhkost	32
6.2	Výhřevnost	34
6.3	Obsah popela.....	34
6.4	Chemické složení hořlaviny paliva	35
7	Technologie přeměny biomasy	36
7.1	Zušlechťování biomasy	38
7.1.1	Pelety	38
7.1.2	Brikety	39

7.1.3	Karbonizace, výroba dřevěného uhlí	40
7.2	Termochemické (suché) procesy.....	42
7.2.1	Pyrolýza	43
7.2.2	Zplyňování	44
7.2.3	Spalování	48
7.3	Biochemické přeměny biomasy (mokré procesy).....	49
7.3.1	Aerobní fermentace.....	49
7.3.2	Anaerobní fermentace.....	49
7.3.3	Alkoholová fermentace	58
7.4	Fyzikálně mechanické procesy	59
7.4.1	Esterifikace	59
8	Závěr	60
9	Seznam použitých pramenů	62
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	65

1 Úvod

Otázka energetického zásobování planety byla, je a bude jedním z nejdůležitějších a nejdiskutovanějších problémů doby. Při stále se zvyšující populaci, dynamicky se rozvíjícím průmyslu, zvyšování nároků společnosti a snižování zásob fosilních paliv ani není divu. Jak vyplývá ze zasedání 21. Světového energetického kongresu, mezi hlavní aspekty současné energetické politiky patří otázka, jak uspokojit celosvětový hlad po energii a současně uspokojit environmentální cíle, z nichž k nejdůležitějším patří omezení emisí. Odpovědí na tuto otázku je bezesporu využívání obnovitelných zdrojů energie, ať už jde o výrobu elektrické či tepelné energie. Velkou roli při využívání energií z obnovitelných zdrojů hraje zpracování a výroba energie z biomasy.

V dnešní době jsou technologie přeměny biomasy na energii na velmi vysoké úrovni. Jsme schopni zpracovávat téměř všechny druhy biomasy, ať už se jedná o pevnou suchou biomasu, či vlhké organické odpady. Některé technologie přeměny jsou však velmi finančně náročné na provoz a mají vysoké pořizovací náklady. Tyto technologie jsou ovšem často jediným způsobem jak zpracovávat určitý druh odpadu, navíc za vzniku energetického výstupu a za zlepšování životního prostředí odproštěním přírody od těchto odpadů. Proto jsou často tyto samy o sobě málo rentabilní technologie dotovány státními fondy a podporovány legislativou.

2 Biomasa, její definice, vznik a význam

Biomasou v nejširším smyslu je hmota všech organismů na Zemi. Zahrnuje tedy jak jejich „tělesné“ schránky tak i živé či neživé produkty jejich činnosti (obaly, exkrementy, semena, dřevo). [6]

Základním producentem biomasy jsou rostliny, které jsou schopné využitím světelné energie zachycené v zeleném barvivu (chlorofylu) produkovat sacharidy a následně bílkoviny. Ty jsou základním „stavebním kamenem“ všech živých organismů – biomasy.[6]

Teoreticky všechny formy biomasy je možno využít pro produkci energie, neboť základním stavebním prvkem živé hmoty je uhlík a uhlíková vazba, která obsahuje energii.[8]

Biomasu lze rozlišit:

a) dle obsahu vody na [6]:

- **Suchou:** dřevo, sláma a další suché zbytky z pěstování zemědělských plodin, lesnictví a průmyslu. Lze ji využít k přímému spalování, případně po dosušení.
- **Mokrou:** zejména tekuté odpady, jako kejda a další odpady ze živočišné výroby a tekuté komunální odpady. Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.
- **Speciální:** olejniny, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek - zejména bionafty nebo lihu.

b) dle původu na [6]:

- **Fytomasu:** biomasa rostlinného původu
- **Zoobiomasu:** biomasa živočišného původu
- **Dendromasu:** biomasa lesního původu

2.1 Základní podmínky vzniku biomasy

„V zemské atmosféře a na zemském povrchu stále dochází k fyzikálnímu a chemickému oběhu prvků a sloučenin“.

„Všechny látky, které jsou součástí oběhu, jsou složeny z chemických prvků. Z prvků nacházejících se v periodické soustavě se mnohé v přírodě nevyskytují (technecium, francium, astat, aktinium), nebo se vyskytují ve velmi malé koncentraci a jejich použití má malý význam (např. prvky vzácných zemin). Významné postavení mají organické sloučeniny, které jsou syntetizované převážně živými organismy pouze z několika prvků: vodíku, kyslíku, uhlíku, dusíku, fosforu a síry, stopové prvky však také mají svůj význam (např. Fe, Cu, K, Na atd.)“.

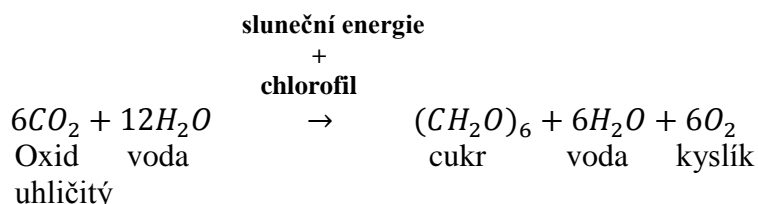
„V zachování dynamické rovnováhy v biosféře má nezastupitelnou úlohu „živá biomasa“. Biochemické reakce zabezpečují trvalý oběh biogenních prvků a transformují sluneční energii na chemickou energii, která se využívá jako energetický zdroj pro všechny biochemické procesy. Hlavní úlohu má fotosyntéza a fotochemické reakce“.

[1, str.32]

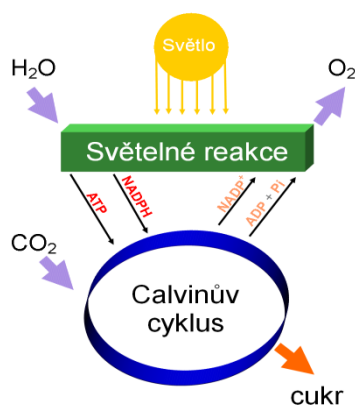
2.2 Fotosyntéza

„Při fotosyntéze vzniká z oxidu uhličitého a vody za působení enzymů, chlorofylu a světelné energie velké množství organických látek. Při fotochemických reakcích se redukuje oxid uhličitý na cukry a voda se oxiduje za vzniku molekulového kyslíku. I když je mechanismus fotosyntézy složitější, je možné tuto biochemickou reakci za účasti světelné energie a chlorofylu schematicky znázornit viz Obrázek 1“.

[1, str.32]



Rovnice 1. Fotosyntéza [1]



Obrázek 1 Schéma fotosyntézy [2]

„Fotosyntéza je složitý, několikastupňový proces, který probíhá v chloroplastech zelených rostlin a v mnoha dalších organismech. Jedná se o tzv. autotrofní výživu. Některé otázky týkající se jejího průběhu dosud nejsou dostatečně objasněny. Průběh se dělí do dvou fází, světelné a temnostní. Ve světelné fázi barevné pigmenty pohlcují světlo, z něhož získávají energii pro následné děje. V této fázi dochází k rozkladu vody a uvolnění kyslíku, který pak využívají i jiné organismy k dýchání. Biochemické děje v temnostní fázi již světlo nepotřebují, ale využívají energii, která z něj byla ve světelné fázi získána. V této fázi dochází k „zabudování“ oxidu uhličitého do molekul cukrů, které dále slouží buď jako zásobárna a zdroj energie, nebo jako stavební složky pro tvorbu složitějších molekul (polysacharidů, glykosidů aj.). Procesy temnostní fáze probíhají v cyklech a liší se podle druhu organismu.“ [2]

2.3 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy se stanovuje z měření produkce O_2 nebo spotřeby CO_2 . Rychlost je ovlivněna řadou faktorů, vnitřních i vnějších, které nepůsobí samy o sobě, ale vzájemně podmíněně. Z vnitřních faktorů jde zejména o množství chlorofylu, stáří listů a minerální výživu. Hlavními vnějšími činiteli ovlivňující rychlost fotosyntézy jsou [2]:

- **Světlo** – které fotosyntézu ovlivňuje svým spektrem a intenzitou záření. Spektrum vhodné pro fotosyntézu (FAR) je v rozmezí 380–760 nm. S přibývajícím intenzitou světla se rychlost fotosyntézy zvyšuje. V okamžiku, kdy se příjem a výdej CO_2 vyrovná, nastává tzv. kompenzační světelný bod. Rychlost fotosyntézy pak dále roste až do bodu světelného nasycení, kdy se ustálí. Při vysokých intenzitách světla vzniká velké množství kyslíkových radikálů, které by mohly zastavit fotosyntézu.
- **Koncentrace CO_2** – ve vzduchu kolísá od 0,02–0,03 %. Vzdušný oxid uhličitý je hlavním dodavatelem CO_2 pro fotosyntézu. Nejnižší koncentrace, při níž začíná fotosyntéza, je 0,008–0,010 %. Při zvyšování koncentrace se rychlost fotosyntézy zvyšuje. Místo, kde je příjem a výdej CO_2 vyrovnán, se nazývá kompenzační bod. Fotosyntéza se dále zvyšuje až do nasycení, kdy se ustálí (0,06–0,4 %). Zvyšováním za hranici 2–5 % CO_2 ve vzduchu fotosyntéza ustane. V ovzduší je koncentrace CO_2 asi 0,03 %, což není optimální (rostliny potřebují více). To lze částečně řešit přesunutím rostlin do skleníku.
- **Teplota** – výrazně ovlivňuje fotosyntézu. U našich rostlin je optimální teplota asi 15–25 °C, při teplotách nad 30 °C nastává výrazný pokles rychlosti. Rychlost fotosyntézy závisí na teplotě exponenciálně a limitujícím faktorem je intenzita světla. Jelikož teplota ovlivňuje i další fyziologické pochody, je závislost fotosyntézy na ní složitá. Při nízkých teplotách rostliny fotosyntetizují pomalu. Zvyšováním teploty rychlost roste až po hranici teplotního optima. Poté pomalu klesá a při 35–45 °C se zastavuje.
- **Voda** – je zcela nezbytná, nedostatek se projevuje uzavíráním průduchů, což způsobí zastavení přístupu CO_2 . Působnost vody je přímá i nepřímá, a proto je závislost fotosyntézy na vodě složitá. Voda:
 - působí jako donor vodíku,
 - hydratuje asimilační pletiva,
 - ovládá regulaci velikosti štěrbin průduchů a transpiraci,
 - ovlivňuje růst asimilační plochy,

- přivádí ionty prvků,
- rozvádí asimiláty.

Maximální rychlost fotosyntézy je při vodním deficitu 5–25 % plného nasycení vodou. V rozmezí deficitu 40–60 % se rychlost výrazně snižuje a klesá k nule. Snižování množství vody vede k uzavírání průduchů, a tím k menšímu příjmu CO_2 . Nedostatek vody ovlivňuje i složení produktů fotosyntézy. Převládají spíše jednoduché látky (např. osmoticky aktivní látky jako sacharidy a aminokyseliny) a tvorba makromolekulárních látek (bílkovin) je snížena.

2.4 Význam fotosyntézy

Fotosyntéza je z hlediska existence současného života pokládána za jeden z nejdůležitějších biochemických procesů. Bez ní by biosféra v současné podobě nebyla zásobena organickými látkami nebo jen ve velmi omezené míře (chemoautotrofními bakteriemi). Fototrofní organismy ročně zachytí asi 1071 kJ energie a její pomocí vyrobí asi 14×10^{11} t organické hmoty, uvolní 15×10^{11} t O_2 a fixují 20×10^{11} t CO_2 ze vzduchu a oceánů.[2]

Fotosyntetické organismy jsou zdrojem potravy pro nefotosyntetické mikroorganismy a živočichy, které jsou potravou pro člověka. Po splnění funkce potravy se degradací v procesu mineralizace mění působením nefotosyntetických mikroorganismů na anorganické látky. Tato aktivita mikroorganismů je rozhodující pro oběh látek v biosféře. Všechny prvky na této planetě, které podléhají chemické konverzi, procházejí cyklickými změnami – z formy organické (obsahující atomy uhlíku) na anorganickou (obsahující atomy kovů) a naopak.[1]

Na produktech fotosyntézy je závislý i dnešní průmysl, neboť uhlí, ropa a zemní plyn (tzv. fosilní paliva) jsou zbytky organismů, které žily v dávné minulosti a bez fotosyntézy by nevznikly.[2]

2.5 Stručný popis koloběhu uhlíku

Anorganické sloučeniny uhlíku, jako jsou oxid uhličitý či hydrogenuhlíčitany, se při fotosyntéze redukují a uhlík se zabudovává do organických uhlikatých sloučenin. Z celkového množství anorganicky vázaného uhlíku na Zemi připadá na oxid uhličitý necelé procento, zbytek připadá na uhličitany. Utvořené organické sloučeniny se mění opět na oxid uhličitý, a to buď oxidací při hoření a dýchání, nebo biologickou degradací. Při fotosyntéze zelených rostlin je ročně pohlceno tělem rostlin asi $1,6 \times 10^{10}$ t uhlíku a při fotosyntéze fytoplanktonu (jednobuněčných řas) asi $1,2 \times 10^{10}$ t.[1]

Oběh uhlíku je úzce spjat s oběhem kyslíku, zvláště u vyšších organismů. Všechno živé dýchá. Dýchání je vlastně přeměna sloučenin uhlíku a vodíku na oxid uhličitý a vodu. Při tomto ději se spotřebovává kyslík z ovzduší. Opačný proces probíhá v rostlinách při fotosyntéze. V celosvětovém měřítku jsou tyto procesy zatím přibližně v rovnováze: v atmosféře je okolo 21% kyslíku a asi 0,03% oxidu uhličitého. Uhlíkovým cyklem projde ročně asi deset miliard tun uhlíku.[1]

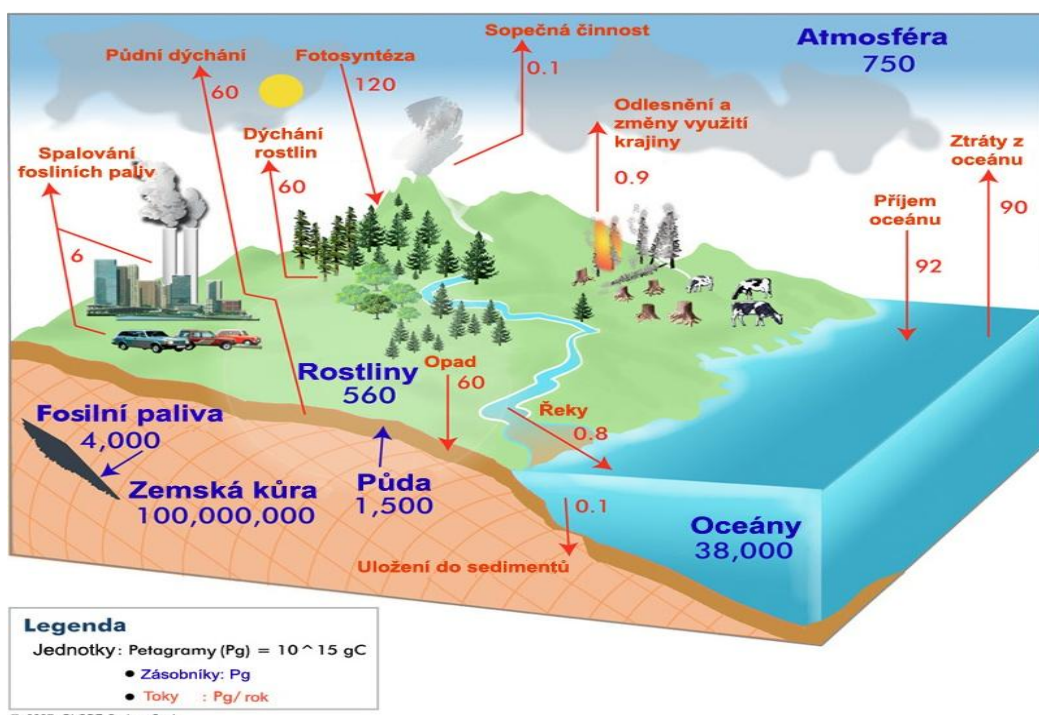
Uhlík existuje v atmosféře hlavně jako plyn oxid uhličitý. Přestože tvoří velmi malý podíl atmosféry (asi 0,04 %), je zásadní pro život na Zemi. K ostatním atmosférickým plynům, které obsahují uhlík, patří metan a antropogenní chlorfluorované uhlovodíky.[7]

Uhlík se z atmosféry dostává pryč několika způsoby[7]:

- Když svítí Slunce, autotrofní organismy (především rostliny) fotosyntetizují, přičemž pohlcují oxid uhličitý a mění ho na sacharidy a zároveň vylučují kyslík. Tento proces je nejrychlejší u lesů (či jiných biotopů), kde probíhá velmi rychlý růst nové biomasy.
- Na mořské hladině se rozpouští atmosférický oxid uhličitý. Čím je voda chladnější, tím více CO_2 může pohltnout. Tento jev je v přímé souvislosti s termohalinním výměníkem.
- Ve vyšších vrstvách oceánu fytoplankton (řasy, sinice) ukládají oxid uhličitý ve svých tkáních a schránkách. Schránky pak klesají ke dnu a zvětrávají. Zvětrávání těchto křemičitých hornin způsobuje kyselina uhličitá. Při tomto procesu se uvolňují hydrogenuhličitany. Na dně se pak ukládají nánosy uhličitánů (např. vápenec).

Uhlík se do atmosféry dostává několika způsoby [7]:

- Respirací živočichů a rostlin. Při této reakci se organické molekuly rozkládají na vodu a oxid uhličitý.
- Rozkládáním rostlinné a živočišné biomasy. Hlavní roli v tom mají houby a bakterie.
- Pokud je přítomen kyslík, mění organické látky na oxid uhličitý, pokud je prostředí anaerobní, mění organické látky na metan.
- Spalováním organického materiálu. Při spalování fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) se rozpadají organické látky, které se po miliony let ukládaly v biosféře.
- Při sopečných erupcích se uvolňují plyny, které mimo jiné obsahují oxid uhličitý. Množství uhlíku, které takto vznikne, plně kompenzuje úbytek uhlíku při zvětrávání.

**Obrázek 2 globální oběh uhlíku[3]**

2.6 Faktory přírodních podmínek pro pěstování biomasy

Pěstování biomasy je ovlivněno mnoha faktory, ať už jde o klimatické podmínky nebo úrodnost půdy. Zemědělsky a lesnicky využitelná půda světa je z hlediska přírodních podmínek uvedena v Tabulce 1.

Faktory přírodních podmínek	mil. ha	% z celkové rozlohy souše
Individuální faktory		
dostatečné srážky	6278	43
spolehlivé srážky	6723	46
příznivá teplota	11948	83
vhodná topografie	9194	64
úrodná půda	6602	46
Kombinace faktorů		
dostatečné a spolehlivé srážky	4941	34
dostatečné a spolehlivé srážky a příznivá teplota	4617	32
dostatečné a spolehlivé srážky a příznivá teplota a vhodná topografie	2997	21
dostatečné a spolehlivé srážky, příznivá teplota, vhodná topografie a úrodná půda	1053	7
celkový povrch souše	14458 ^{a)}	100

Tabulka 1 Lesnický a zemědělsky využitelná půda světa[1]

^{a)}Údaj o celkové rozloze suché části povrchu Země je poněkud podhodnocen, činí asi 144,6 mil. km², zatímco ve skutečnosti dosahuje tato rozloha zhruba 149,4 mil. km². [1]

Tato plocha je velmi malá, představuje asi 7 - 21 % pevniny. V osvojování zemského povrchu pro pěstování kulturních plodin jsou značné rezervy. Přitom je ovšem nezbytně nutné postupovat značně opatrně, neboť jsou zde rizika změn ekosystémů a klimatických podmínek velkých oblastí (viz likvidace amazonských pralesů, vysychání Aralského jezera, vznik Saharské pouště). [1]

2.7 Plochy využitelné pro pěstování kulturních plodin v ČR

V České republice je situace podstatně lepší. Celková rozloha státu je 7 886 tis. ha, z toho využitelná plocha pro pěstování (viz Tabulka 2) činí 87 % rozlohy České republiky. [1]

	tis. ha
zemědělská půda	4 271 (tj. 54 % rozl.)
-z toho orná půda	3 125 (tj. 40 % rozl.)
lesní půda	2 631 (tj. 33 % rozl.)
Zemědělská a lesní půda celkem	6 902 (tj. 87 % rozl.)

Tabulka 2 Rozloha půdy využitelné k pěstování biomasy [1]

Tato značná část rozlohy státu umožňuje poměrně významné využití odpadních i pěstovaných biopaliv ve venkovských regionech. Nelze ale předpokládat, že v nejbližší době nahradí uhlí, nebo ostatní fosilní paliva, to by nebylo reálné.

2.8 Biomasa-obnovitelný zdroj energie

Biomasa disponuje obrovským množstvím uložené sluneční energie a je proto velmi významným zástupcem obnovitelných zdrojů energie (OZE). Přínos energie z biomasy a ostatních typů obnovitelných zdrojů je porovnán v Tabulce 3. Pod pojmem nekomerční dřevo zde skrývá produkt přírodních lesů a pralesů, komerční dřevo je potom produktem pěstovaného lesa. Energetické kultury jsou zde rychlerostoucí dřeviny, řepka pěstovaná pro výrobu bionafty a plodiny pěstované pro výrobu bioetanolu.[1]

	ENERGIE				BIOMASA				OZE celkem
	vodní	geo-termální	solární	větrná	dřevo		energ. kultury	odpady	
					komerční	ne-komerční			
státy severu	557,0	13,2	38,0	42,0	482,0	28,0	38,0	191,0	1 389
státy jihu	321,0	6,8	162,0	18,0	498,0	645,0	32,0	313,0	1 996
svět celkem	878,0	20,0	200,0	60,0	980,0	673,0	70,0	504,0	3 385
podíl na světové bilanci					Biomasa celkem 65,8%				
OZE (%)	25,9	0,6	5,9	1,8	29,0	19,9	2,0	14,9	100

Tabulka 3 Podíl biomasy v OZE [1]

3 Biomasa vhodná pro energetické využití

Biomasu využívanou pro získání energie můžeme rozdělit na biomasu k tomuto záměrně pěstovanou a odpadní biomasu, kterou tvoří zbytky, vedlejší produkty a odpad ze zpracování primárních zdrojů rostlinné nebo živočišné biomasy viz Tabulka 4.

	TYP-ZDROJ	PŘÍKLAD
BIOMASA ODPADNÍ	dendromasa – lesnictví a dřezpracujícího průmyslu	<ul style="list-style-type: none"> dřevo a těžební odpad z lesního hospodaření spalitelný odpad z pilařské výroby, dřezpracujícího a papírenského průmyslu
	fytomasa – zemědělství a průmysl	<ul style="list-style-type: none"> rostlinné sklizňové zbytky zemědělské prvovýroby, zejména sláma obilná a řepková odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce odpady z lihovarů a konzerváren (např. rostlinné obaly olejnatých semen)
	Organická biomasa- zemědělské, průmyslové a potravinářské odpady	<ul style="list-style-type: none"> kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů odpady z jatek, odpady z mlékáren organické zbytky zemědělské výroby, zejména chlévská mrva, zbytky krmiv
BIOMASA ZÁMĚRNĚ PĚSTOVANÁ PRO ENERGETICKÉ ÚČELY	Biomasa energetických plodin 1. generace	<ul style="list-style-type: none"> řepka a palma olejná na FAME a PPO (čistý řepkový olej) pšenice a kukuřice (v USA) na bioethanol žitovec (triticale) na pelety
	Biomasa energetických plodin 2. generace (tzv. lignocelulózní plodiny)	<ul style="list-style-type: none"> dřeviny: např. topoly, vrby nebo v teplejších oblastech eukalyptus nedřevnaté rostliny: energetický šťovík, ozdobnice, proso dvojřadé aj.

Tabulka 4 Skupiny biomasy pro energetické účely [1]

3.1 Dřevo a dřevní odpad

Dřevo je díky své snadné dostupnosti, skladování a příznivé ceně velice oblíbeným a ekologicky šetrným zdrojem energie. Při spalování určitého množství dřeva se uvolňuje jen takové množství CO₂, kolik spotřebovala fotosyntéza při jeho vzniku. V žijící biomase lesů Země je akumulováno na 560×10^9 t uhlíku. Les ovšem nejsou jen žijící stromy, ale i veškerá odumřelá biomasa.

Dendromasu pro energetické účely můžeme získat ve formě palivového dřeva např. z lesní těžby, nebo jako tzv. odpadní (zbytkovou) dendromasu ve formě pilin, hoblin či odřezků při zpracovávání dřeva, či jako odpadní dendromasu jako jsou větve, pařezy a odřezky, které zůstanou v lese po těžbě.

Palivové dřevo

Palivové dřevo se dělí na měkké a tvrdé. Mezi měkké dřevo patří např. topol, olše, lípa, smrk, modřín a borovice. Tvrdé dřevo pochází většinou z listnatých stromů, jako je buk, dub, akát, ořech nebo třešeň.

Pro topení v krbech nebo krbových kamnech se nejvíce hodí právě tvrdé dřevo, pokud topíme v kotli, je vhodnější měkké. Každé dřevo má specifický způsob hoření a různou výhřevnost. [9]

Palivové dřevo je po těžbě nejčastěji ve formě dlouhých kmenů nebo polen, které se dále zpracovává na vhodnou formu a velikost (viz kapitola Mechanická úprava pevných biopaliv).



Obrázek 3 Palivové dříví z lesní těžby

Dřevní průmyslový odpad

Dřevní odpad je v našich podmínkách převážně snadno dostupná a levná forma paliva. Hlavním producentem dřevního energeticky využitelného odpadu bývají pilařské a dřevozpracující provozy, které často jako odpadní produkt poskytují piliny a odřezky různého rozměru. Tato forma biomasy – zejména z velkých zdrojů - začíná být pomalu zcela využita především pro výrobu biopaliv, například lisovaných dřevních pelet a briket. Menší lokální pily však stále mohou být rentabilním zdrojem pro místní potřeby.



Obrázek 4 dřevěné odřezky a piliny z pilařské výroby

Dřevní lesní odpad

Odpadní dřevní biomasa z výchovných a mýtních těžeb v lesních porostech je dalším velmi slibným zdrojem. Přesto, že je její potenciál velmi vysoký, není zatím téměř vůbec využíván, protože lesnické společnosti, které provádějí těžbu, nejsou schopny tuto biomasu vyklízet z lesa ekonomicky rentabilním způsobem.



Obrázek 5 Odpadní dřevní biomasa z výchovných a mýtních těžeb

„V průměru je z celkové roční produkce dřevní hmoty využívána méně než polovina. Ve statistikách je vykazováno jako těžba dřeva přibližně stejné množství dřevní hmoty, jako zůstává nevyužito v lese nebo jako odpad při zpracování. Cca. 30% dřevních odpadů vzniká již při těžbě. Při zpracování dřevní hmoty vzniká 36 % odpadů při pilařském zpracování a 64 % v dalších dřevozpracujících závodech“.

„Z ekologických, technických a ekonomických důvodů není možno veškeré množství takto vzniklé odpadní dřevní hmoty využít; reálně je využitelných pouze cca. 40%. Celková roční těžba v roce 2000 činila cca 12,5 mil. m³ dřeva, do roku 2011 je zachována na poměrně stabilní úrovni“.

„Při uvažované průměrné těžbě v horizontu roku 2011, stejném množství vznikající odpadní dřevní hmoty a 40% využití této hmoty činí využitelný zdroj odpadní dřevní hmoty 4,5 mil. m³, což při průměrné měrné hmotnosti dřeva 600 kg/m³ a při 25% vlhkosti je cca 2 736 000 tun dřevní hmoty. Při průměrné výhřevnosti dřeva 12 GJ/tunu je celkový dostupný potenciál energie ve spalitelné dřevní hmotě 32 800 TJ“.[8]

Měření dřeva

Palivové dřevo se většinou měří v prostorových mírách. Základní jednotka dříví je **1 m³ = plnometr (Plm)** (kubík dřeva) představující krychli o hraně 1x1x1 metr zcela plnou dřevní hmoty. Měřit palivové dřevo tímto způsobem je ovšem nereálné, jelikož nemůžeme zanedbávat mezerovitost mezi jednotlivými kusy dřeva.

Častěji se proto setkáváme s jednotkou **prostorový metr rovnaný (Prmr)**, což je prostor s rozměry 1x1x1m, ve kterém jsou vyskládaná jednotlivá polena či štípané dřevo.

Další možnou jednotkou pro měření množství palivového dřeva je **prostorový metr sypaný (Prms)**, což je neurovnaný, volně dřevem nasýpaný prostor s rozměry 1x1x1m.

O plnosti různě zpracované dřevní hmoty také vypovídá následující Tabulka 5 obsahující činitele plnosti:

Sortiment	Činitel plnosti	
	Obvyklá hodnota	Rozsah hodnot
polena rovnaná	0,75	0,7-0,8
větve rovnané	0,35	0,2-0,5
krajinky rovnané	0,60	0,5-0,7
krajinky skládané	0,65	0,55-0,75
odřezky volně ložené	0,55	0,5-0,7
lesní štěpka sypaná	0,40	0,35-0,45
Štěpka z pilařských odpadů sypaná	0,35	0,3-0,4
kůra sypaná	0,30	0,2-0,4

Tabulka 5 Obsah plného dřeva, činitel plnosti [1]

3.2 Spalitelné obilí

Jedná se o zemědělské sklizňové zbytky, zejména pak o obilnou, případně řepkovou slámu. Po oddělení zrna od stonků rostlin zbývá významná část rostliny, kterou můžeme dále využívat. Kromě toho, že jsou krmivem a stelivem pro hospodářská zvířata či substrátem v kompostárenství, jsou také velmi dobrým, dostupným a relativně levným palivem.

V našich podmínkách se k energetickému využití používá sláma pšenice, žita, ječmene, ovsa, kukuřice a řepky olejné.



Obrázek 6 Zbytky po zemědělské sklizni

Technologie pěstování a sklizně obilovin, včetně skladování slámy, je známa a propracovaná do relativní dokonalosti. V tomto směru nejsou obiloviny žádným problémem.

Množství slámy je počítáno podle rozměru zrna ke slámě:

Plodina	Poměr zrno:sláma
Pšenice	1:1,85
Žito	1:1,7
Ječmen	1:0,8
Oves	1:1,4
Kukuřice	1:1,2
Řepka olejná	1:1,2 až 1,8

Tabulka 6 Poměr zrna ke slámě [1]

„Obiloviny zaujímají v ČR 51,5 % plochy zemědělské půdy. To se zdá být jako zdroj velkého potenciálu pro získávání energie z obilné slámy, Plnému využití dostupného potenciálu však brání celá řada překážek souvisejících s nutností dopravy slámy na místo využití, ochotou zemědělců a zemědělských podniků poskytovat část vyprodukované slámy atd. Vzhledem k těmto překážkám není možno dostupný potenciál stoprocentně využít. Reálný potenciál se pohybuje od 7 % (v realistickém scénáři) do 20 % (v optimistickém scénáři) roční produkce slámy“.[8]

3.3 Organické průmyslové a potravinářské odpady

Tento druh biomasy pro energetické využití je všeobecně označován jako druh vhodný pro anaerobní fermentaci. Z biomasy této skupiny lze řízenými fermentačními procesy získat bioplyn a ten je pak uplatnit ve všech typech energetického zařízení. Do této skupiny řadíme:

- Komunální a průmyslové odpady, zpracovávané v čistírnách odpadních vod
- Komunální a průmyslové tuhé odpady uložené na řízených skládkách
- Slamný kravský hnůj, exkrementy z velkochovů vepřů a drůbeže, jateční odpady, odpady potravinářské výroby a speciálně pěstované trávy.

3.4 Biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely

Poměrně novým zdrojem biomasy jsou porosty speciálních plodin na zemědělské půdě, jejichž cílem je záměrná produkce biomasy k energetickému, nebo i průmyslovému využití. Jsou to druhy a sorty dřevin, trvalek nebo bylin, které jsou schopné vysokého výnosu nadzemní biomasy. Jejich růst a zejména objemová produkce (tun/hektar/rok) při intenzivním pěstování výrazně převyšuje průměrné hodnoty ostatních. Pro rychle rostoucí dřeviny (RRD) považujeme za nadprůměrné výnosy od 8–10 tun a za vynikající nad 15 tun sušiny/ha/rok (100% sušiny) v průměru za celou dobu existence plantáže.

Tento způsob produkce biomasy se začal rozvíjet v posledních dvou desetiletích v západní Evropě a experimentálně také v některých oblastech Severní Ameriky. Zatím nejpropracovanější způsob je produkce biomasy s využitím dřevin, který je v češtině nejčastěji označován jako výmladkové plantáže RRD. Na rozdíl od dobře známých lesnických lignikultur topolů, které jsou sklizeny po 15–30 letech růstu, jsou výmladkové plantáže RRD na zemědělské půdě sklizeny ve velmi krátkém obmětí (tzv. minirotaci) 3–7 let, kterou je možné opakovat několikrát po sobě bez nutnosti nové výsadby. Jejich produktem je (dřevní) biomasa využitelná zatím hlavně jako palivo (vytápění, sdružená výroba elektřiny), ale i jako průmyslová surovina (výroba tekutých paliv, farmak, konstrukčních materiálů). Záměrná produkce biomasy se může v brzké době stát důležitým aspektem v trendu využívání biomasy díky unifikované kvalitě, dobré plánovatelnosti produkce a svým dalším ekonomicko-sociálním přínosům.[5]

Rozdělení:

- **plodiny 1. generace**

Tuto skupinu tvoří původně potravinářské, krmivářské, případně technické zemědělské plodiny. Jinými slovy jsou to energetické plodiny, u kterých existuje konkurenční užití ve výrobě potravin či krmiv. Tyto plodiny jsou zpracovávány převážně na kapalná příp. plynná biopaliva.

Patří mezi ně například:

- Řepka- používaná na výrobu řepkového oleje.
- Pšenice-na výrobu ethanolu
- Žitovce- na výrobu pelet
- Kukuřice-na výrobu bioplynu a ethanolu.

- **plodiny 2. generace**

Do této skupiny patří "nové energetické plodiny", někdy také nazývané ligno-celulózní energetické plodiny. Jedná se zejména o vybrané klony a odrůdy rychle rostoucích dřevin, vytrvalých travin a bylin.

Tuto skupinu můžeme rozdělit na:

- Dřeviny- vrby, topoly, olše, akáty
- Obiloviny -celé rostliny
- Travní porosty-sloní tráva, chřastice, trvalé travní porosty
- Ostatní rostliny-konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka

4 Mechanická úprava a zpracování biomasy

Zpracováváním a úpravou biomasy vhodné k energetickým účelům lze získat specifické druhy biopaliv. Jde o úpravy a zpracovávání, kdy z původního stavu biomasy získáváme biomasu ve vhodnějším formě a s lepšími vlastnostmi pro další využívání takto vzniklého biopaliva.

4.1 Mechanická úprava pevných biopaliv

Mechanická úprava pevného biopaliva, jakým je např. dřevo, spočívá ve zpracování dřeva na potřebné rozměry, tvar a formu. K tomu se používají různá zařízení realizující proces stříhání, sekání, drcení, peletování, briketování atd. Takto vzniklá biopaliva jsou lépe skladovatelná, zaujímají menší objem a disponují lepšími vlastnostmi pro další energetické využití.

Upravená pevná biopaliva jsou vhodná převážně k přímému spalování.

4.1.1 Stříhání

Touto technologií se získává klasické kusové palivové dříví, zejména z tenčiny a bočních kusových odpadů z dřevařského průmyslu.

Popis procesu a zařízení na stříhání:

Úprava spočívá ve stříhání dříví na danou délku v zařízení pracujícím na principu gilotiny. Tyto stříhací zařízení se skládají z podávacího zařízení a stříhacích nožů. Podávací zařízení posouvá materiál o danou délku (25 až 50 cm) a stříhací nože následně provedou vysunutím a tlakem o protinůž ustřížení.

Ve velkých městských kotelnách v zahraničí se používají stříhací zařízení s větším počtem nožů vedle sebe. Nože jsou od sebe vzdáleny přibližně 50 cm. Soustava nožů je umístěna vertikálně na boku spodní části násypky. Do násypky se sypou různé druhy odpadového dřeva (stavební odpad, křoviny větve, pařezy), které po rozstříhnutí soustavou nožů padá na dopravník pod ním a dopravuje se do spalovacího zařízení. [1]

4.1.2 Štěpkování

Dřevní štěpku získáváme sekáním větví, kmenů ale i celých stromů nejružnější tloušťky.

Popis procesu a zařízení na štěpkování:

Štěpkováním dochází k beztrískovému dělení dřeva řezným účinkem sekacích nožů napříč vlákny a zároveň dělením na potřebnou tloušťku podél vláken díky klínovému tvaru nože. Zařízení na výrobu štěpky nazýváme sekačky, někdy také volněji štěpkovače.

Podle účelu použití a celkového technického řešení a začlenění do technologických linek rozlišujeme sekačky **stacionární a mobilní** :

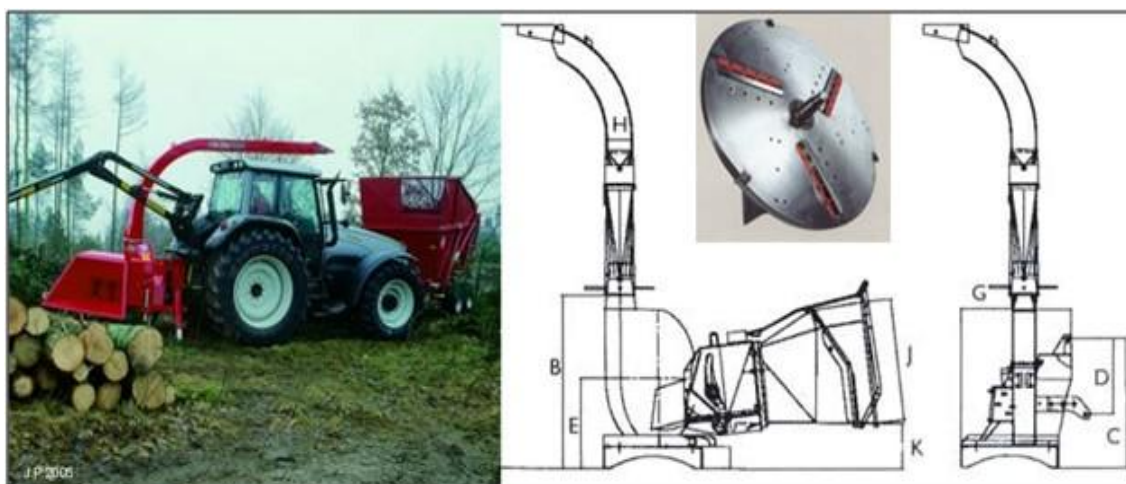
- **Stacionární sekačky**-Sekací agregát, skládající se ze statoru a rotoru, je trvale zabudován do technologické linky na pevných základech. Před sekacím agregátem je v lince přísunové a podávací zařízení. Za sekacím agregátem je zařízení na odvod štěpky (potrubí nebo dopravník). K pohonu sekačky slouží

elektromotor. Upravený sekací agregát stacionárních sekaček se obvykle používá jako sekací agregát i do mobilních sekaček.

- **Mobilní sekačky**-Pojízdné sekačky mají sekací agregát namontován na podvozku, který je určen k přesunu sekačky. Naproti tomu převozní sekačky nemají sekací agregát trvale zabudován na pevných základech ani namontovaný na podvozcích. Na pracoviště se převáží jiným dopravním prostředkem.[1]

Podle typu sekacího ústrojí dělíme sekačky na **diskové, šroubové a bubnové**:

- **Diskové sekačky**-Jsou nejrozšířenější a nejvýkonnějším zařízením na výrobu štěpky. Původně byly řešeny jen jako stacionární s průměrem disku od 1 000 do 2 000 mm, s počtem nožů od 2 do 16 a potřeným instalovaným příkonem až 500 kW. Sekačky byly řešeny tak, že dřevo šikmo klouzalo po žlabu k rotoru sekačky. Výkonnost těchto sekaček je velmi vysoká: 250 až 300 m³.h⁻¹ při sekání rovného dřeva nebo krácených výřezů délky 2 až 4 m. Pojízdné diskové sekačky vznikly ze stacionárních sekaček, na kterých byly provedeny některé úpravy a změny, aby byly schopny sekát i celé stromy na štěpku. V současné době se ve světě vyrábějí diskové pojízdné sekačky dvojího provedení: Sekačky, jejichž rovina sekání je skloněna pod úhlem α k ose dopravníku, se vyznačují konstrukcí sekacího zařízení, která vyvolává přímo sekacími noži sílu potřebnou ke vtahování dřeva k sekacímu rotoru. Uvedená síla má velký význam při vtahování a formování koruny stromů podávacím zařízením. Při řešení konstrukce to však má nevýhody, protože je třeba používat převodovku na překonání úhlu α a uložení podávacího zařízení vychází velmi vysoko. Sekačky, jejichž rovina sekání je kolmá na osu dopravníku a pootočená k ose dopravníku o úhel β , umožní i při velkých průměrech sekacího disku zmenšit celkovou výšku podávacího zařízení, pokud sekání probíhá ve spodní části disku. Pohon celého zařízení je jednodušší, protože úhel β je vytvořen v horizontální poloze a spalovací motor je uložen vodorovně, což je vyhovující. Konstrukce takovéto sekačky však má nevýhody v tom, že podávací zařízení musí být vybaveno vertikálními válci, které zachytí účinek sekacích nožů na vtahovací dopravník do vertikálních válců, a protinůž musí být řešen v rovině horizontální a vertikální.[1]



Obrázek 7 Schéma diskové sekačky[10]

Mezi výhody diskových sekaček patří tyto:

- pojezdové diskové sekačky se vyznačují velkou kvalitou štěrky a v podstatě jsou rovnocenné se stacionárními sekačkami,
 - umožňují sekat dřevo až do průměru 500 mm při přijatelném hmotnostním i pevnostním dimenzováním,
 - velký setrvačný moment dovoluje zabudovat spalovací motor menšího výkonu s tím, že materiál se seká přerušováním podávání do té doby, než výkon motoru není dostatečný pro sekání vzhledem k tloušťce dřeva,
 - diskové sekačky nevyžadují zvláštní ventilátor, protože samotný disk vybavený lopatkami má velký vrhací a ventilační účinek, který zabezpečí dopravu štěrky do automobilů, popř. přistavených kontejnerů. Nevýhodami diskových sekaček je to, že velikost vstupního otvoru je omezena poloměrem sekacího disku a že nejsou vhodné k sekání chaotického materiálu vzhledem k omezené velikosti vstupního otvoru.[1]
- **Bubnové sekačky**-Na rozdíl od diskových sekaček jsou jejich sekací nože uloženy na obvodu rotujícího válce. Jsou konstruovány pro menší výkony a surovinu menších rozměrů. Používají se ke zpracování různého odpadu – např. v lesnictví k sekání chaotického materiálu.



Obrázek 8 Schéma bubnové sekačky [10]

Bubnové sekačky mají tyto výhody [1]:

- celé sekací zařízení je menších rozměrů; je možné konstrukčně lépe řešit celé rozložení agregátů na podvozku. Horizontální uložení osy bubnu umožňuje výhodnější řešení celkového pohonu, nejsou požadavky na použití kuželové převodovky pro vyrovnání úhlů osy sekacího zařízení a spalovacího motoru,
- vzhledem k sekání pod osou sekacího bubnu a s přihlédnutím k poloměru bubnu je možné řešit vstupní dopravník níže než u diskových sekaček,
- bubnové sekačky jsou zvlášť vhodné k sekání chaotického materiálu (větve po procesorech) – pro možnost vytvořit velký vstupní otvor při optimálním poloměru bubnu a jeho délky,
- vzhledem k celkovému konstrukčně-pevnostnímu řešení sekacího agregátu a jeho malému setrvačnému momentu nejsou vhodné k sekání dřeva větší tloušťky,

- úhel řezu se v době seku mění od maximálního po minimální; to má velký vliv na kvalitu štěpky, její tloušťka velmi kolísá; proto je její použití jako technologické štěpky nevhodné,
- sekací buben má velmi malý ventilační účinek a vrhací je téměř nulový, proto je třeba montovat ventilátor pro dopravu štěpky z bubnu do zásobníku nebo kontejneru.
- **Šroubové sekačky**-Šroubové sekačky jsou jednoúčelové malé sekačky k sekání tenkých stromků a kmínků velikosti asi 10 x 10 cm na palivovou štěpku s tloušťkou okolo 1 cm. Sekací orgán má tvar šroubovice se stoupajícím průměrem. Šroubovice se při otáčení postupně zařezává do dřeva a zároveň vtahuje dřevo k většímu průměru. Názorně si lze šroubovou sekačku představit na principu mlýnku na maso.

Vlastnosti štěpky [22]

- výhřevnost : 8 až 15 MJ/kg
- měrná hmotnost: kolem 250 kg/m³
- vlhkost : 15 - 50 %

4.1.3 Drcení

Tento způsob úpravy rozměrů používáme u dřeva, které z nějakého důvodu nelze zpracovávat v sekacích zařízeních. Jedná se o drobné kousky dřeva, mimořádně netvárné dřevo jako sou křoviny či znečištěné pařezy a stavební odpad. Na rozdíl od sekacích zařízení mají drtiče na rotoru místo pevně umístěných ostrých břitů, pohyblivě nebo pevně umístěná kladiva. Pohyblivě umístěná kladiva při nárazu na tvrdý předmět mění svou polohu a snižují tak riziko poškození.



Obrázek 9 Schéma drtícího zařízení [10]

Popis procesu a zařízení na drcení [1]

Nízkootáčkové drtiče jsou určeny hlavně k drcení rozměrově nehomogenního odpadu z nábytkářské výroby. Činným orgánem je obvykle válec, po jehož obvodu jsou spirálovitě rozmístěné nožíky různých tvarů (hranaté, trojúhelníkové). Podle tvaru nožů je tvarován i protinůž.

Podle počtu rotujících válců jsou drtiče **jednoválcové** nebo **dvouválcové**.

- Dvouválcové drtiče mohou být i bez protinožů, se směrem otáčení válců proti sobě. K homogenizaci odpadového dřeva z lesa nejsou tyto drtiče příliš vhodné. Na zpracování těchto surovin jsou vhodnější vysokootáčkové drtiče.

Podle tvaru drtícího orgánu je můžeme rozdělit na **diskové** a **bubnové**.

- Disk diskových drtičů je umístěn vertikálně s malými nožíky instalovanými v čelní ploše disku. Dřevo k disku přitlačuje hydraulicky ovládaná protilehlá stěna. Tyto drtiče jsou vhodné na drcení pařezů, kusového odpadu, těžebního odpadu a podobných surovin.
- Pracovní orgán bubnových vysokootáčkových drtičů může být vybaven spirálovitě rozmístěnými noži nebo kladívky. Drtiče vybavené noži jsou vhodné na drcení větví, kusového odpadu apod., drtiče opatřené kladívky je vhodné využít na drcení tenkých větví, křovin, kůry a podobných materiálů.

4.1.4 Paketování

Paketování je proces homogenizace těžebního odpadu, při němž se klest a jiný těžební odpad lisují do balíku obdobně jako sláma. Paketování je méně náročný způsob zpracovávání dřeva než ostatní způsoby jako jsou např. štěpkování či drcení.

Popis procesu a zařízení na paketování:

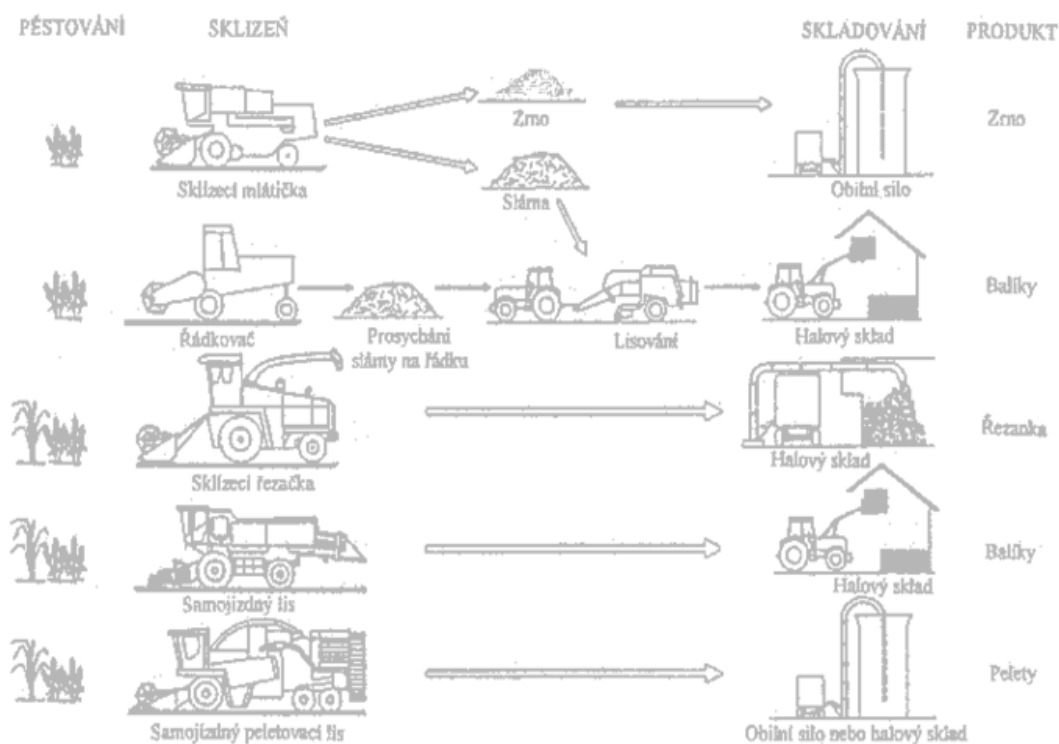
Paketovací stroje lisují těžební odpad na balíky. Lisovací tlaky jsou však podstatně vyšší než u lisů například na slámu, protože větve namáhané při lisování na vzpěr kladou lisování velký odpor. S balíky se dále manipuluje na tzv. euro paletách, kde jsou uloženy dva balíky vedle sebe. Výška balíku se rovná asi polovině délky delší strany palety. Balíky (pakety) je možné spalovat ve speciálních topeništích nebo jsou používány jako mezioperační zásoba před další dezintegrací. Pakety jsou vhodné pro dopravu, manipulaci a skladování. Použití celých balíků jako paliva je komplikováno tím, že jejich hoření je nerovnoměrné. Proto lze jimi topit jen v topeništích vyšších výkonů, ve kterých je hoření stabilizováno ještě dalším palivem. [1]



Obrázek 10 Proces a zařízení na paketování [10]

4.2 Mechanická úprava energetických stébelnin

Energetické stébelniny se stejně jako pevná paliva mechanicky zpracovávají na vhodnější formu pro transportování, skladování a pozdější využívání k energetickým účelům. Proces sklizení a úpravy, realizovaný pomocí sklízecích strojů a zařízení, je znázorněn na obrázku 11.



Obrázek 11 Základní systém sklizně a úpravy en. stébelnin [1]

4.2.1 Lisování

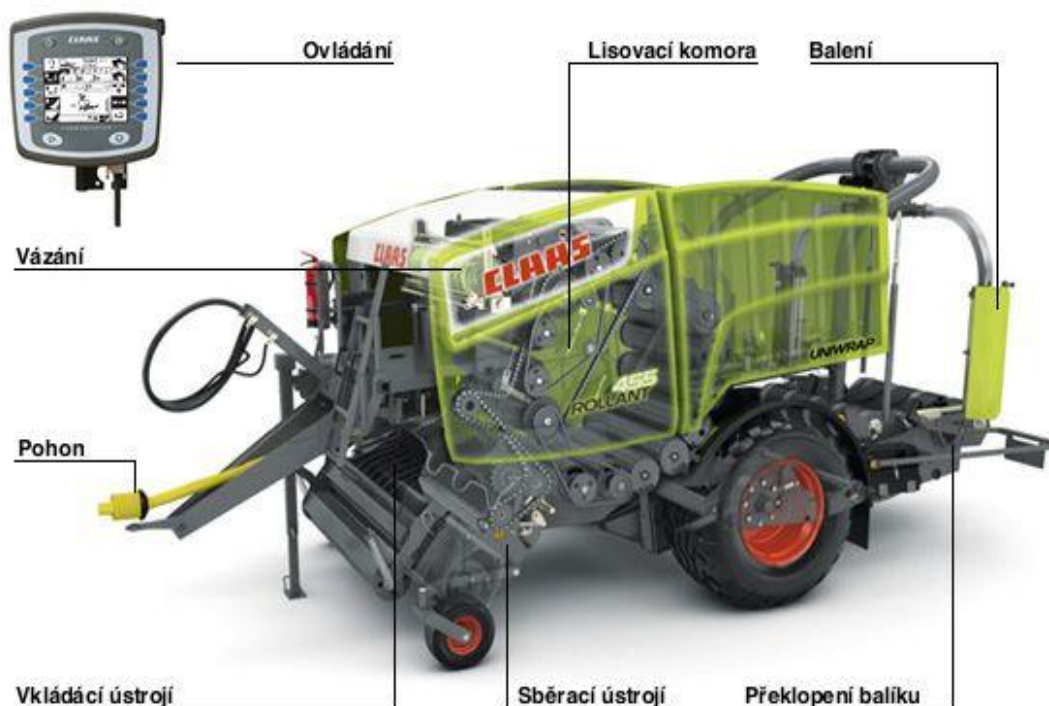
Pro sklizeň energetických stébelnin v suchém stavu, tj. slámy obilnin a olejnin, energetických obilnin, rákosovitých travin, ale i lnu a konopí, popř. miscanthu, se stále více používají sběrací lisy na obří hranaté nebo válcové balíky. Zatím nevžitou novinkou jsou kompaktní lisy (výsledkem je hutný materiál ve tvaru špalvu). Teplárny a výtopny dávají přednost velkým hranatým balíkům, na farmách se pro menší kotle používají i levnější svinovací lisy na válcové balíky a lisy na klasické malé balíky. [1] Technický vývoj sběracích lisů je veden těmito směry:

- všichni hlavní výrobci se snaží dodávat celou výkonovou řadu lisů podle potřeb uživatel, tím jsou ovlivněny zejména rozměry balíků,
- zlepšuje se pohodlí obsluhy a kontroly chodu lisů,
- zavádí se přídatné řezací ústrojí ke sběracím lisům, jako předpoklad větší hmotnosti balíků

Typy sběracích lisů:

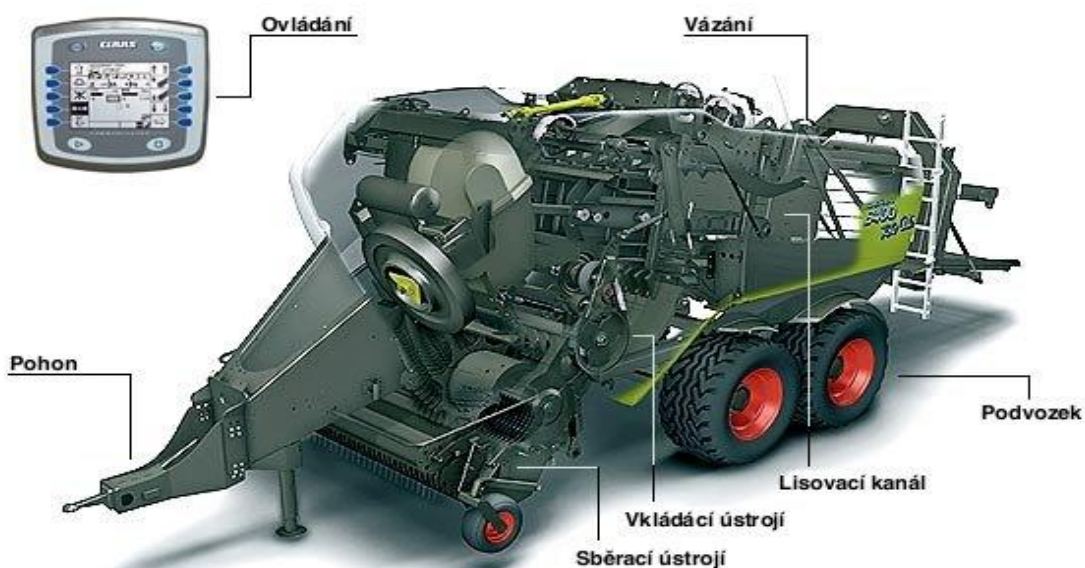
- **Lisy na válcové balíky** (Obrázek 12) - Pro svou nižší pořizovací cenu jsou stále nejoblíbenějším typem sběracích lisů. Měnitelné rozměry lisovací komory

umožňují vytvářet balíky slámy o průměru až 1,8 m s obsahem až 3 m³ slisované slámy o hmotnosti do 500 kg, zatímco pro silážní plodiny může být průměr balíků i pod 1 m. Šířky sběracího ústrojí se pohybují většinou o 2 m.[1]



Obrázek 12 Pohled na mechanismus válcovacího lisu [24]

- **Lisy na hranaté balíky** (Obrázek 13) – lisy, jejichž výstupem jsou hranaté balíky o výšce 50 až 100 cm a šířce 80 až 120 cm.



Obrázek 13 Pohled na mechanismus lisu na hranaté balíky [24]

Typ lisu	Hranaté balíky	Rotační balíky
Princip funkce	Lisování	svinování
Hustota balíku, sláma [kg/m ³]	150	120
Hmotnost balíku [kg]	400 až 800	100 až 500
Výkonnost [t/h]	12 až 20	6 až 12
Potřebný výkon [kW]	56	50

Tabulka 7 Porovnání parametrů lisů na hranaté a válcové balíky [1]

4.2.2 Briketování a peletování suchých stébelnin

„Někteří odborníci považují slaměnou briketu nebo peletu za ideální „záračné“ palivo. Sláma na poli je levný zdroj a energetické obilí (např. Triticale) dává v porovnání se vstupem vysoký výnos energie. Spotřeba přídavné energie na výrobu briket nebo pelet nepřesahuje 5 % teleného obsahu briket. Překážkou jsou jen vysoké investiční náklady na potřebné stroje ve zpracovatelské lince. Tu tvoří manipulační zařízení, rozpojovač balíků, drtič u peletizačních protlačovacích lisů a vlastní lisy. Stacionární výroba tvarovaných paliv ze slámy je v rozporu s jinak výhodnou sklizní sběracími lisy, protože jednou lisovaný materiál se znovu rozpojuje, nebo dokonce šrotuje a opět lisuje. Volně ložená sláma sklizená sběracími vozy má vysoké požadavky na skladovací prostor a následnou manipulaci, přestože je cenově nejvýhodnější. Proto rostoucí zájem odborníků směřuje k vývoji technologie a techniky zajišťující výrobu energetických briket ze stébelnin přímo na sklizeném pozemku“. [1, str.53]

„Jediným zatím realizovaným řešením je systém HAIMER, projekt dotovaný vládou SRN a představovaný sklízecí samojízdou řezačkou se žacími nebo sběracími ústrojími, na kterou bezprostředně navazuje dosušecí provětrávací zařízení a lisovací peletovací ústrojí. Souprava je vybavena motory o celkovém výkonu 353 kW. Veškeré odpadní teplo je využito k dosušení sklizeného materiálu. Zcela novým způsobem je řešeno tvarové stlačování pořezaných stébelnin mezi soustavou rýhovaných válců a odřezávacích válců, které probíhá kontinuálně. Výrobek je jakási nekonečná „čokoláda“ o šířce asi 100 mm a tloušťce přibližně do 25 mm, která se po průchodu strojem rozlamuje na menší částice. Hustota se pohybuje od 850 do 1 000 kg·m⁻³ – sypaná hmotnost os 300 do 500 kg·m⁻³, což je přibližně stejné jako u pelet o průměru do 35 mm“. [1, str.53]

4.3 Mechanická úprava rychle rostoucích dřevin

Ve světovém vývoji se rýsují dvě odlišné vývojové tendence v technologii sklizně a zpracování RRD k energetickým účelům. Jednak jde o technologie využívající většinou traktorem tažený odřezávač stromků, které jsou dopravníkem vynášeny na ložnou plochu návěsu, kde jsou buď ručně, nebo mechanicky rovnány, popř. snopkovány (převázány). Snopky kmínků až do hmotnosti několika tun jsou buď ponechány na pozemku, nebo častěji odváženy na kraj pole či až na místo zpracování. Teprve po řádném vyschnutí, které může trvat i půl roku, jsou štěpkovány. Produktem je relativně suchá, energeticky velmi vydatná štěpka, schopná spalování v běžných topeništích na dřevní štěpku s vysokou účinností. Manipulace je o něco náročnější, ale stroje jsou jednodušší v celé lince včetně kotleny, která může mít i kotle s nižším výkonem. [1]

Jiná technologie využívá většinou samojízdné, ale i tažené sklízecí stroje schopné okamžité výroby dřevní štěpky – sice o větší vlhkosti, ale snadněji manipulovatelné a dopravovatelné na velká topeniště s prostorem pro dosoušení paliva před vzplanutím. Tyto kotelny by měly mít kondenzační jednotky pro využití tepla, které odnáší v topeništi odpařená vody ve spalínách. Některé technologie využívají aktivní provětrání i se solárním příhřevem vzduchu (např. ve výtopně Kautzen, Rakousko). Světový vývoj se pro některou z těchto technologií zatím jednoznačně nerozhodl. Kritériem pravděpodobně bude rozsah podnikatelského záměru. Zatím většina výtopen preferuje spíše suchá paliva.[1]

5 Možnosti energetického využití biomasy

Biomasa, jakožto přírodní a obnovitelný zdroj energie je využívána odedávna. Jako nejhistoričtější a nejprostší způsob využití biomasy může uvést činnost pračlověka, který díky spalování dřevní biomasy ve svých jeskyních mohl přežít kruté a dlouhé zimy. Aniž by si to sám uvědomoval, položil tak základy energetického využívání biomasy. Od té doby prošlo využívání biomasy velkými pokroky a vývojem moderních technologií umožňujících získávat energii z biomasy mnohem hospodárnějšími a efektivnějšími způsoby. V dnešní době je tak možno využívat biomasu k výrobě ušlechtilých biopaliv, které téměř vůbec nezatěžují životní prostředí, nebo ji můžeme využívat k přímému spalování

Možnosti využití biomasy:

- Výroba tepla přímým spalováním v topeništích
- Zpracování na kvalitnější paliva (brikety, pelety, plyn, olej...)
- Výroba elektřiny (kombinovaná výroba tepla a elektřiny)

6 Vlastnosti biomasy

Každý druh biomasy je specifický svými fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi. Tyto vlastnosti jsou rozhodující například pro výběr možností technologií zpracování a technologií přeměny na biopaliva. Nejdůležitějšími vlastnostmi biomasy coby biopaliva jsou vlhkost a s ní spojená výhřevnost.

6.1 Vlhkost

Vlhkost udává množství vody v biomase.

Obsah vody v biomase je dán vztahem [1]:

$$W = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \times 100 [\%]$$

kde:

H_1 – hmotnost vzorku surové dřevní hmoty v kg

H_2 – hmotnost vzorku po sušení v kg

Je nutné podotknout, že tento vztah pro výpočet vlhkosti, se používá v energetice. V dřevozpracujícím průmyslu se obsah vody v dřevní hmotě určuje vztahem:

$$W_d = \frac{H_1 - H_2}{H_2} \times 100 [\%]$$

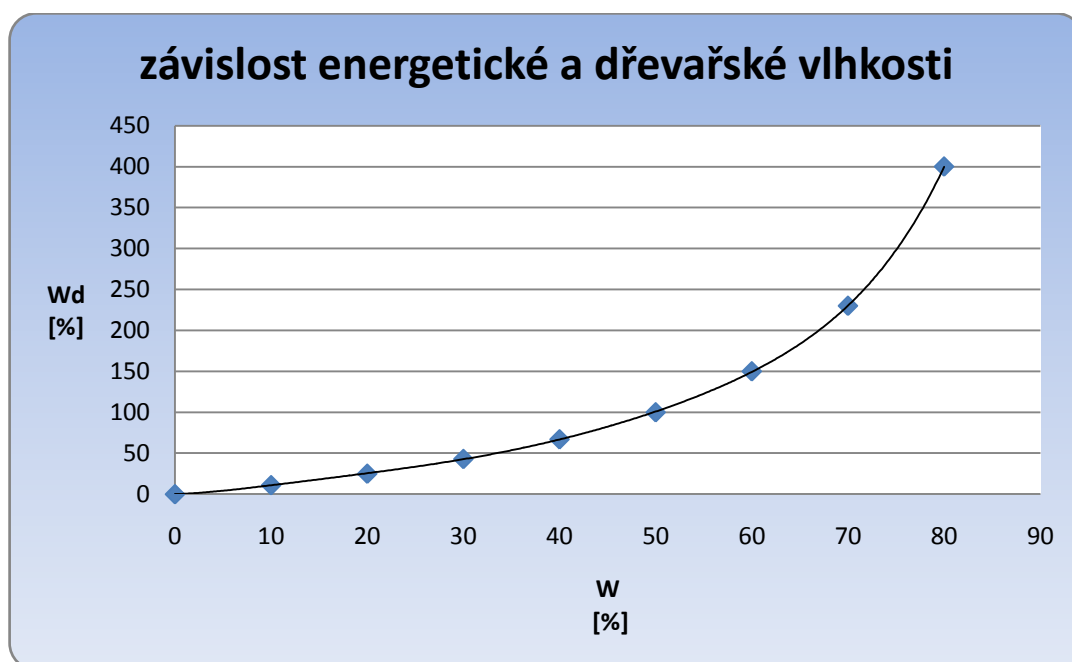
Je proto nutné vždy přesně znát o jakou vlhkost se jedná. V této práci se bude používat vlhkost energetická.

V Tabulce 8 je porovnána vlhkost energetická a vlhkost používaná v dřevozpracujícím průmyslu. Graf 1 pak tuto závislost znázorňuje.

Pro dobré vlastnosti biopaliva určeného ke spalování je nutné, aby obsahovalo co nejméně vlhkosti. Toho se dosahuje sušením. Nikdy však nedosáhneme toho, aby biopalivo bylo absolutně suché. Biomasa vždy obsahuje nejméně 10 % vody, v průměru mají dřevo a štěpka 30 % vlhkosti. Vlhkost slámy v balících uskladněných v halových skladech nebo v zakrytých stozích dosahuje okolo 14 až 16 %. [1]

Vlhkost W [%]	Dřevařská vlhkost W_d [%]
0	0
10	11
20	25
30	43
40	67
50	100
60	150
70	230
80	400

Tabulka 8 porovnání energetické a dřevařské vlhkosti [1]



Graf 1 závislost energetické a dřevařské vlhkosti [1]

6.2 Výhřevnost

Výhřevnost je definována jako teplo, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva, pakliže voda vzniklá spalováním, zůstává v plynném stavu.[14]

Jak již bylo řečeno, na výhřevnost má vliv voda obsažená v biomase (vlhkost) viz Tabulka 9. Při hoření se totiž tato voda odpařuje, a tím snižuje základní výhřevnost sušiny biomasy (biomasy dokonale suché).

Výhřevnost je pak dána vztahem:

$$H_u = \frac{H_{uWf} \times (100 - W) - (r \times W)}{100} \text{ [MJ/kg]}$$

kde:

H_u - skutečná výhřevnost paliva

H_{uWf} - výhřevnost sušiny

W - obsah vody v palivu (vlhkost)

r - teplo potřebné k odpaření 1kg vody

Výhřevnost také klesá se stářím dřeva, kdy je vystaveno působení mikroorganismům houbám a plísním.

Obsah vody	Palivo			
	Výhřevnost dřeva		Výhřevnost kůry	
%	MJ/kg	kW*h*kg ⁻¹	MJ/kg	kW*h*kg ⁻¹
0	18,5	5,1	18,8	5,2
10	16,4	4,6	16,7	4,6
20	14,3	4,0	14,6	4,1
30	12,2	3,4	12,5	3,5
40	10,1	2,8	10,5	2,9
50	8,0	2,2	8,4	2,3
60	6,0	1,7	6,3	1,8

Tabulka 9 vliv obsahu vody na výhřevnost paliva [1]

6.3 Obsah popela

Dalším důležitým parametrem paliva je obsah popela, respektive jeho teplota tání. Je-li teplota tání popela nižší než teplota plamene při hoření, pak dochází k zalepování roštu ohniště, což působí problémy. Obsah popela v biomase je relativně nízký. Obsah popela závisí také např. na způsobu pěstování, skladování a jiných vnějších vlivech. Teplota tání popela je u většiny druhů vysoká, bývá větší než 1100–1200 °C, pouze u některých druhů (např. u slámy a vojtěšky) se pohybuje mezi 800–900 °C. Zalepování roštu nízkotajícím popelem lze zabránit namícháním paliva, které obsahuje popel o nižší teplotě tání s palivem, jež obsahuje popel vysokotající. Nízkotající popel se při spalování “obalí” popelem vysokotajícím a rošt nezalepí.[14]

6.4 Chemické složení hořlaviny paliva

Pro dřevo je specifické, tím že obsahuje největší podíl plyných látek uvolňovaných pyrolýzou nehořících na roštu, ale ve vztahu mezi rostem a komínem (tzv. dlouhý plamen dřeva a dalších biopaliv). Kvůli tomu je třeba spalovat biomasu ve speciálních topeništích k tomu určených. V opačném případě by toto spalování bylo spojeno s nepříjemně nízkou účinností ale i s emisemi ekologicky nežádoucích produktů nedokonalého spalování, jako jsou karcinogenní látky a aromatické uhlovodíky.[1]

Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty je uvedeno v Tabulce 10.

Složka v %	dřevo			kůra
	jehličnaté	listnaté	smíšené	
Uhlík	51,0	6,2	50,5	51,4
Vodík	6,2	6,15	6,2	6,1
Kyslík	42,2	43,25	42,7	42,2
Síra	-	-	-	-
Dusík	0,6	0,6	0,6	0,3
popeloviny	1,0	1,0	1,0	2,3

Tabulka 10 Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty [1]

Předností dřevní hmoty je fakt, že neobsahuje síru, a tak během spalování neuvolňuje plyný exhalát SO_2 , škodlivý životnímu prostředí.

Základní složení a vlastnosti vybraných biopaliv jsou uvedeny v Tabulce 11. Pro porovnání vlastností a složení jsou v tabulce uvedeny i zástupci fosilních paliv.

Palivo	Roz- mezí	Výhřev- nost	Obsah popel- ovin	Vlhkost	Elementární složení				
		MJ*kg ⁻¹	%	%	C	H	O	N	S
					%	%	%	%	%
Obilní sláma	min.	15	3,5	12	43,9	5,4	38	0,3	0,05
	max.	17,5	6,5	25	48	6,4	43,3	0,7	0,2
Obiloviny	min.	15,5	3	12	45	6	39,5	1	0,09
Sláma+zrno	max.	18,5	5,6	25	46,6	6,9	42,6	1,8	0,2
Miscantus	min.	15	2,5	12	45	5,5	36	0,5	0,05
Sloní tráva	max.	17,6	8	40	49	6,45	41,3	1,7	0,3
Seno	min.	13,5	4,2	15	45	6	38,8	0,8	0,08
	max.	17,7	5,8	25	48,6	6,6	44,3	1,1	1,12
Dřevo	min.	16,9	0,2	10	45	5,3	41,4	0,1	0,02
	max.	19	3	60	52	6,5	46	1,7	0,3
Řepkový olej	min.	35	0	do 0,5	77	12	11	0,1	0
Etanol		27	0	do 2,0	52	13	25	0	0
Zemní plyn	min.	32	do 0,5	do 0,5	86	13	0,25	0,25	0,3
Hnědé uhlí	min.	14	3	10	27,5	2,5	12	0,3	0,5
	max.	23	33	30	64	5,8	33	1,5	6
Černé uhlí	min.	27	3,7	10	65	2,8	5	0,9	0,5
	max.	32,5	17	30	84	5	9,1	2	1,5
Koks	min.	30	3	5	65	1	1	0,1	0,1
	max.	32,5	15	15	90	2	2	0,5	0,5

Tabulka 11 složení a vlastnosti vybraných biopaliv [1]

7 Technologie přeměny biomasy

Energii z biomasy lze získávat různými technologickými procesy, které se liší svoji podstatou. Na základě fyzikálních a chemických vlastností, z nichž hlavní význam má vlhkost, tedy obsah vody v biomase, dělíme typy procesů přeměny biomasy na **suché** tzv. termochemické u biomasy s více jak 50 % sušiny, **mokrý** tzv. biochemické u biomasy s obsahem sušiny menším jak 50 % a **fyzikální a chemické**.

Energetickým výstupem jsou pak [1]:

- **pevná biopaliva** - palivové dřevo, dřevní štěpka, pelety, brikety.
- **kapalná biopaliva** - metanol, etanol, biooleje, pyrolýzní oleje.
- **plynná biopaliva** - bioplyn, dřevoplyn, generátorový plyn.

Způsoby využití biomasy pro energetické účely jsou díky pokročilým technologiím velice rozmanité. Typy, technologie a výstupy konverzí biomasy jsou uvedeny v tabulce 12.

Typ procesu	Způsob využití	Energetický výstup	Odpadní materiál nebo druhotná surovina
Termochemické procesy	spalování	teplo vázané na nosič	popeloviny
	pyrolýza	generátorový plyn	dehtový olej, uhlíkaté palivo
	zplyňování	generátorový plyn	dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
Biochemické procesy	anaerobní fermentace	bioplyn	fermentovaný substrát
	aerobní fermentace	teplo vázané na nosič	fermentovaný substrát
	alkoholová fermentace	etanol, metanol	vykvašený substrát
Fyzikální a chemické	esterifikace olejů	metylester biooleje	glycerin

Tabulka 12 Využití biomasy pro energetické účely[1]

Každý druh biomasy je kvůli svým fyzikálním a chemickým vlastnostem více či méně vhodný k jednotlivým způsobům jejího využití. O vhodnosti jednotlivých druhů biomasy k využití jednotlivými technologiemi informuje Tabulka 13.

DRUH BIOMASY	Ostatní procesy		Suché procesy			Mokrý procesy		
	Esterifikace bioolejů	Získávání odpadního technologického o tepla	Spalování	zplyňování	pyrolýza	Alkoholová fermentace	Aerobní fermentace	Anaerobní fermentace
Energetické plodiny lignocelulózní(dřevo, sláma, plodiny, obiloviny)	0	1	3	1	1	1	2	2
Olejnate plodiny (řepka, slunečnice, len)	3	0	2	0	0	0	0	2
Energetické plodiny škrobnaté nebo cukernaté (brambory, cukrová řepa, obiloviny)	0	0	1	1	1	3	0	1
Odpady z živočišné výroby (exkrementy, mléčné odpady)	0	2	1	1	1	0	2	3
Energetický podíl komunálního odpadu	0	1	3	2	2	0	1	3
Energetický odpad z potravinářské nebo jiné průmyslové výroby	0	1	1	0	0	2	2	3
Odpady z dřevařských provozoven	0	0	3	2	2	0	0	0
Odpady z lesního hospodářství	0	1	3	2	2	0	1	2
Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a z péče o krajinu	0	1	3	1	1	0	1	2
Získané produkty (energetický výstup)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII

Tabulka 13 Vhodnost aplikace různých způsobů konverze biomasy k energetickým účelům[1]

Legenda: aplikace technologie v praxi

- 0- nelze použít nebo se v praxi nepoužívá
- 1- technicky zvládnutelná technologie, avšak v praxi se nepoužívá
- 2- vhodné jen pro určité technologicko-ekonomické podmínky
- 3- často využívaná technologie
- 4- I-olej, metylester, II-teplo vázané na nosič, III-teplo vázané na nosič, IV-hořlavý plyn (metan), V-pevné palivo, dehtový olej, plyn, VI-etanol, metylalkohol, VII-teplo vázané na nosič, VIII-metan

7.1 Zušlechťování biomasy

7.1.1 Pelety

Peletování vzniká kvalitní biopalivo s výbornými vlastnostmi pro spalování. Pelety disponují vysokou energetickou hustotou, tepelnou výhrevností a výbornými vlastnostmi z hlediska dopravy a manipulace, které umožňují ekonomické skladování, předzásobení a automatický přívod paliva k topeništi. [11]

Pelety (Obrázek 14) jsou vysoce stlačené výlisky válcovitého tvaru, obvykle v průměru 6 mm a různorodé délce od 5 až do 40 mm. Pelety se dají rozdělit na **dřevní**, lisované z dřevních zbytků, obvykle z pilin a hoblin, nebo pelety **rostlinné**, **kůrové**, **rašelinové** a pelety z dalších materiálů z biomasy a jejich vzájemných směsí – **tzv. směsné pelety**. [11]



Obrázek 14 Pelety

Dřevní pelety mohou dosahovat různých barev. Zbarvení pelet je způsobeno v závislosti na použitém druhu dřeva, na kvalitě suroviny ovlivněné vlhkostí nebo příměsí kůry apod. a použitým technologickým procesem výroby. [11]

Výroba pelet

Pelety se vyrábějí lisováním vstupní vysušené suroviny na prstencové nebo ploché matrici bez dalších přídavných směsí, pojiv nebo lepidel. Distribuce hotových pelet se provádí buď v pytlích o hmotnosti 10 – 25 kg, ve velkých textilních vacích (big-bag) o hmotnosti kolem 1000 kg, volně ložené pelety na valnících, nebo cisternovým automobilem s pneumatickou dodávkou pelet flexibilními hadicemi. [11]

Použití pelet

Pelety lze používat jako palivo v široké výkonové škále kotlů a kamen v rodinných domech i ve větších budovách. Vzhledem k povaze paliva jde o zcela čistý a obnovitelný zdroj energie. Popel shořelého paliva lze výhodně využít jako zahradní hnojivo. [11]

Vlastnosti pelet

Výhřevnost pelet je závislá na jejich kvalitě a složení. U dřevěných pelet lze poznat jejich původ díky zabarvení. Čistá dřevní peleta bez příměsí kůry bývá nejsvětlejší, čím je peleta tmavší, tím v ní bývá více příměsí, nejčastěji kůry. Platí tedy obecné pravidlo čím světlejší peleta, tím kvalitnější. Na rozdíl od topenišť spalujících dřevo se při hoření pelet nevytváří kouř. Při dokonalém spalování vzniká bezbarvý CO_2 (oxid uhličitý) a H_2O (vodní pára) a jen nepatrné množství škodlivin. [11]

- výhřevnost 16 až 18 MJ/kg
- měrná hmotnost kolem 850 kg/m³
- vlhkosti max. do 10 %
- množství popele cca. 0,5% spáleného paliva

7.1.2 Brikety

Brikety (Obrázek 15) jsou pevným biopalivem lisovaným do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů, o průměru 40 až 100 mm a délky do 300 mm. Podle zvoleného typu materiálu, se na trhu můžeme setkat s briketami ze dřeva, kůry, slámy, energetických plodin nebo a briketami vyrobených ze směsí těchto materiálů – tzv. směsnými briketami. [12]

Brikety mohou být různého zbarvení v závislosti na použitém druhu biomasy, na kvalitě suroviny ovlivněné vlhkostí nebo příměsí kůry a použitým technologickým procesem výroby. [12]



Obrázek 15 Brikety válcové světlé

Výroba briket

Brikety jsou vyráběny stejným způsobem jako pelety, lisováním. Tento proces výroby briket se nazývá briketování. Lisovaným vstupním materiálem je podobně jako u pelet dřevní prach, drť, piliny, kůra, jemné hobliny nebo rostlinné zbytky. Při lisování se nepoužívá pojiv ani lepidel.

U briket se můžeme setkat s různými provedeními, ať už jde o použitý materiál či tvarové řešení. K rychlému vytápění se vyrábí brikety z měkkého dřeva s otvorem uprostřed viz Obrázek 16, které umožňují snadnější zátop a rychlejší prohořívání. Na druhé straně, pro stabilní vytápění rodinného domu, lze doporučit plné brikety nebo tzv. RUF brikety, které navíc při použití tvrdého dřeva či kůry jako vstupní suroviny, dávající pomalý rovnoměrný žár s až 6 hodinovou dobou žhnutí.

Čistá dřevní briketa bez příměsí kůry bývá nejsvětlejší, čím je briketa tmavší, tím v ní bývá více příměsí, nejčastěji kůry. U briket vyrobených z rostlinné biomasy toto vizuální pravidlo neplatí. [12]

Distribuce hotových briket se provádí buď v pytlích o hmotnosti nejčastěji 10 kg, nebo skládané na paletách ve fóliích o hmotnosti do 1000 kg. [12]



Obrázek 16 Brikety s průchozím otvorem

Použití briket

Brikety je možné spalovat v jakýchkoliv kotlích na dřevo, dají se použít v krbech, kachlových kamnech i kotlích ústředního vytápění. Jsou ekologickou náhradou za uhlí a alternativou pro obce potýkající se s kouřem ze spalování uhlí v domácích topeništích. Nejvyšší účinnosti při spalování briket z biomasy se dosahuje v kotlích na dřevoplyn. Vzhledem k povaze paliva jsou brikety z biomasy zcela čistý a obnovitelný zdroj energie. Popel z briket lze použít jako minerální hnojivo. [12]

Vlastnosti briket

- výhřevnost 12 až 18 MJ/kg (je závislá na jejich kvalitě a složení)
- měrná hmotnost do 1200 kg/m³
- vlhkost max. do 10 %
- obsah popele kolem 1 až 3 %

7.1.3 Karbonizace, výroba dřevěného uhlí

Výroba dřevěného uhlí je nejstarší, ale stále používanou metodou zušlechťování dřeva pro energetické využití.

Dřevěné uhlí je černé kusovité biopalivo, vzniklé jako uhlíkatý nekrystalický produkt suché destilace dřeva. Na první pohled jej můžeme poznat díky jeho matnému kovovému lesku, výrazně dřevité struktuře, lasturovitému lomu a při nárazu kovovému zvuku. Dřevěné uhlí je snadno a vysoce hořlavé a má vysokou absorpční schopnost. [1]

Výroba:

Nejstarší způsob výroby dřevěného uhlí je výroba v tzv. milířích (Obrázek 17), jehož znalost je stará nejméně tak jako znalost tavení kovů. Uhlíř skládal polena dříví na sebe do tvaru kopce v několika vrstvách, a na něj potom skládal vrstvu drnů, klestí nebo sena, a to celé zasypal vrstvou uhelného prachu. Celý tento proces byl velice zdlouhavý, pracný, nehospodárný a ekologicky nevhodný (pro únik plyných a kapalných frakcí bez zužitkování a pro znečištění výsledného produktu zeminou). Tento způsob získávání dřevěného uhlí byl v budoucnu vystřídán suchou destilací v karbonizačních pecích (Obrázek 18) a retortách. Hlavní rozdíl mezi těmito způsoby je v dodávání tepla pro tepelný rozklad a zuhelnňování dříví. [1]



Obrázek 17 Dobová fotografie pálení dřevěného uhlí v milířích (Krkonošsko)

U milířů a karbonizačních pecí dodává potřebné teplo samo zuhelnňované dřevo, zatímco u retort je teplo dodáváno zvenčí, zahříváním pláště retorty (proto je retortové dřevěné uhlí chemismy nejčistší). Při výrobě dřevěného uhlí se získává 33 až 35 % dřevěného uhlí, při současné produkci asi 8,1 % dehtu, 15,8 % nekondenzovatelných plynů CO, CO₂, 6,0 % kyseliny octové, 2,1 % metanolu a dalších asi 300 chemických sloučenin, jejichž objemový podíl je u jednotlivých látek menší než 1 %. [1]

K výrobě dřevěného uhlí lze použít dřevo listnaté i jehličnaté. Toto dříví by ovšem nemělo obsahovat suky, nesmí být napadení hnilobou (u takové dříví dochází po procesu karbonizace k samovznícení) a musí být řádně proschlé. Doporučuje se vysychání na slunci a v průvanu ve vysokých hranicích nejméně půl roku po těžbě.

Podle dřeviny a míry proschnutí lze z jednoho 1 m³ dříví získat 140 až 180 kg dřevěného uhlí, 280 až 400 kg kapalin a zhruba 80 kg hořlavých plynů. Znamená to, že na výrobu jedné tuny dřevěného uhlí je zapotřebí asi 10 tun rovnaného dříví. [1]



Obrázek 18 Výroba dřevěného uhlí, ocelové karbonizátory

Použití:

Nejvyšší spotřeba dřevěného uhlí slouží v průmyslu k obohacování kvalitních ocelí uhlíkem a pro filtrování kapalin a plynů. Často se také, díky svým vlastnostem, používá při tepelné úpravě potravin grilováním. K tomuto účelu se však využívá nízké procento celkové produkce dřevěného uhlí. [1]

Vlastnosti [1]:

- Dobře vypálené dřevěné uhlí hoří pomalu a vydává sálavé teplo (400 až 500 °C) bez plamenů a kouře
- Bod vznícení 300 až 400 °C
- Výhřevnost cca 27,2 MJ/ kg
- měrná hmotnost 0,20 kg/m³ (při rozpětí 0,14 až 0,22)
- vlhkost do 8 %
- obsah uhlíku min. 80 %
- obsah popela v sušině 2 %
- obsah prchavých látek v sušině do 12 %

7.2 Termochemické (suché) procesy

Termické procesy přeměny biomasy jsou založeny na principu působení teploty, která přesahuje mez její chemické stability. Tato obecná definice zahrnuje velmi široké rozmezí teplot používaných v jednotlivých technologiích (300 - 2000 °C), přičemž není brána v úvahu chemická povaha probíhajících dějů. Z tohoto důvodu mohou být termické procesy dále děleny do 3 kategorií [13]:

- **oxidativní procesy** - u těchto procesů je v reakčním prostoru obsah kyslíku stechiometrický nebo vyšší vzhledem ke zpracovávanému materiálu (nizkoteplotní a vysokoteplotní spalování),
- **reduktivní procesy** - v reakčním prostoru je obsah kyslíku nulový nebo substechiometrický (pyrolýza a zplyňování).
- **Jiné procesy** - nepoužívají jako oxidační médium molekulární kyslík, ale jiné oxidanty, především CO_2 a H_2O .

7.2.1 Pyrolýza

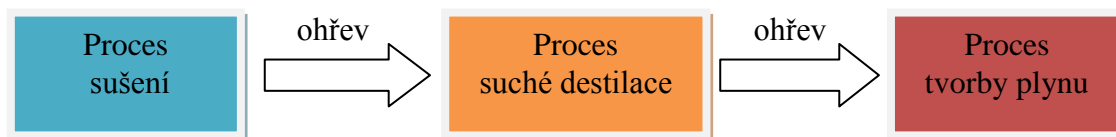
Pyrolýza (řecky pýr = oheň, lysis = rozpuštění) je fyzikálně-chemický děj, řadící se do relativně široké skupiny termických procesů

Pyrolýza, jakožto reduktivní proces, je míněn termický rozklad organických materiálů za nepřístupu médií obsahujících kyslík. Podstatou pyrolýzy, jakožto termochemického děje, je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin. Při tomto ohřevu dochází k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Dle dosahovaných teplot pyrolýzních procesů můžeme pyrolýzu rozdělit na:

- nízkoteplotní- teploty do 500 °C
- středněteplotní- teploty od 500 do 800 °C
- vysokoteplotní- teploty větší než 800 °C

V průběhu zahřívání dochází při procesu pyrolýzy k řadě dějů, které je možné rozdělit do 3 teplotních intervalů [13] :

- **Interval teplot 0 až 200 °C** - dochází k sušení a tvorbě vodní páry fyzikálním odštěpením vody. Tyto procesy jsou silně endotermické (spotřebovávají teplo).
- **Interval teplot 200 až 500 °C** - oblast tzv. suché destilace. Zde nastává ve značné míře odštěpení bočních řetězců z vysokomolekulárních organických látek a přeměna makromolekulárních struktur na plynné a kapalné organické produkty a pevný uhlík (dřevěné uhlí).
- **Interval teplot 500 až 1200 °C** - fáze tvorby plynu. Zde jsou produkty vzniklé suchou destilací dále štěpeny a transformovány. Přitom jak z pevného uhlíku, tak i z kapalných organických látek vznikají stabilní plyny, jako je H_2 , CO , CO_2 a CH_4 . Tyto plyny proudí do zásobníků. Část tohoto plynu pak může být použita pro atmosférický hořák za účelem sušení vstupní biomasy.



Obrázek 19 Průběh dějů při pyrolýzy

Využití produktu pyrolýzy

Energie ze spálení plynů se využívá v kotlích na odpadní teplo k výrobě páry nebo teplé užitkové vody. Jiný modernější přístup, předpokládá využití pyrolýzního plynu jako chemické suroviny nebo jako topného plynu např. pro motory kogeneračních jednotek. Probíhá také výzkum, který je staví do pozice náhradního paliva, např. po

úpravě pro pohon pomaloběžných lodních a podobných velkoobsahových dieselových motorů nebo spalovacích turbin. Některé společnosti dodávají na trh malé agregáty na využívání zplyňované práškové biomasy s výkonem 12 až 400 kW určené především pro rozvojové země. [13]

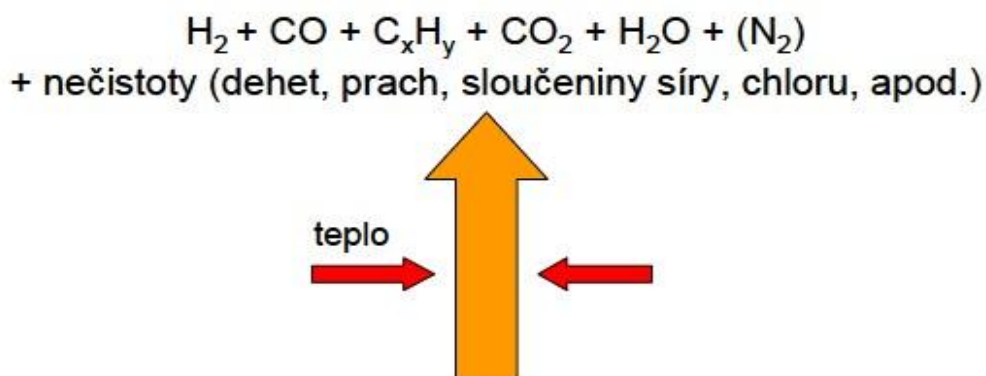
Rychlá pyrolýza

Touto technologií získáváme kapalný energetický produkt- bioolej, který lze snadno skladovat a přepravovat. Technologie je založena na extrémně rychlém přívodu tepla do suroviny, udržování potřebné teploty, krátkou dobou pobytu par v reakční zóně a co nejrychlejším ochlazením vzniklého produktu. Za těchto podmínek se vstupní surovina přemění na stabilní plyny a pevný zbytek (dřevěné uhlí). Plyny jsou odvedeny do kondenzátoru, kde kondenzuje za vzniku pyrolýzního oleje, což je tmavě hnědá kapalina s hustotou asi $1,2 \text{ kg/dm}^3$ a výhřevností 16-19 kJ/kg.

Ze vstupní suroviny vzniká přibližně 50 – 75 % váhového množství biooleje. Nutno podotknout, že pro omezení obsahu vody v biooleji, je při tomto procesu nezbytné předsušení biomasy na vlhkost nižší než 10 % (výjimečně až 15 %). [13]

7.2.2 Zplyňování

Zplyňování je technologie, díky které se termochemickou přeměnou uhlíkatého materiálu v pevném či kapalném skupenství získává výhřevný energetický plyn. K tomuto dochází ve zplyňovacích mediích za působení tepla. Princip zplyňování je schematicky znázorněn na obrázku. [14]

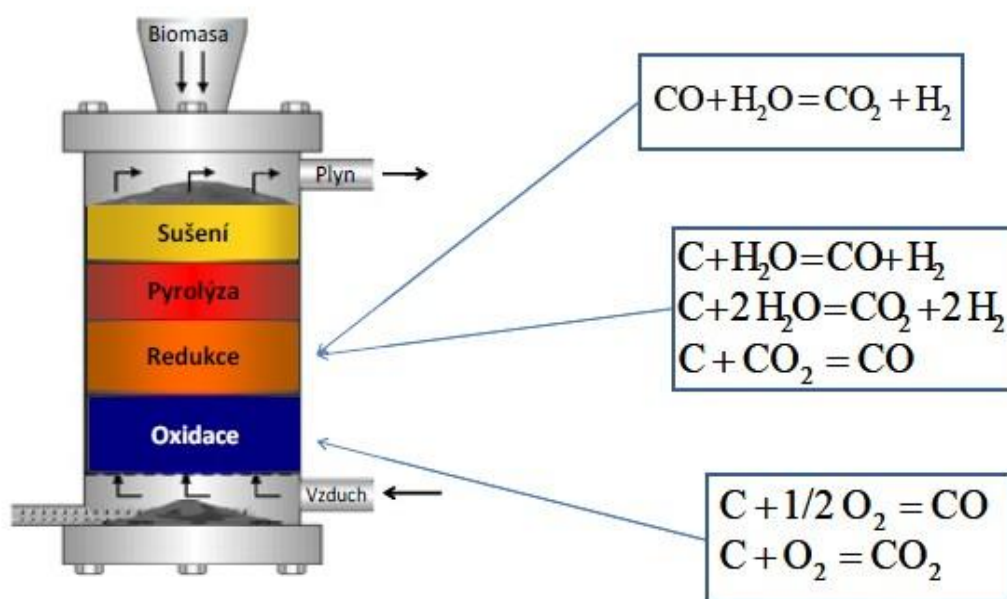


Obrázek 19 princip zplyňování [14]

Produktem procesu zplyňování je plyn obsahující [14]:

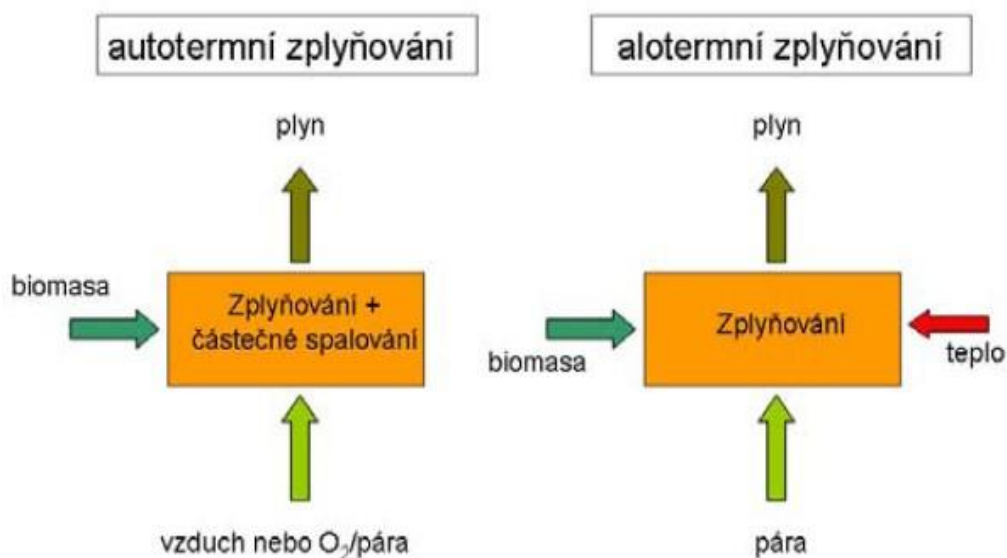
- výhřevné složky (H_2 , CO , CH_4 a další minoritní sloučeniny),
- doprovodné složky (CO_2 , H_2O , N_2),
- znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru, alkálie a další).

Zplyňování je komplexní proces, kterého se účastní celá řada reakcí. V obecném pohledu se jedná o čtyři základní pochody: **sušení, pyrolýzu, redukci a oxidaci**. Tyto procesy mohou probíhat postupně, např. v případě sesuvných generátorů (Obrázek 20), anebo souběžně v případě fluidních generátorů. [14]



Obrázek 20 Proces v sesuvném generátoru [14]

„První tři procesy, tj. sušení, pyrolýza a redukce, jsou endotermní (spotřebovávají teplo). Potřebné teplo může být získáno přímo v reaktoru oxidací (hořením) části paliva (jako v předchozím příkladě), nebo může být přivedeno z okolního prostředí. Pokud je praktikován první způsob, tedy pokrytí tepelné spotřeby částečným spálením paliva přímo v reaktoru, používá se termín **autotermní**, neboli přímé zplyňování, pokud je teplo přiváděno z okolí do reaktoru, hovoříme o tzv. **alotermním**, nebo nepřímém zplyňování.“ Na následujícím obrázku (Obrázek 21) jsou tyto pojmy znázorněny schematicky. [14]



Obrázek 21 Rozdělení zplyňování v závislosti na způsobu přívodu tepla [14]

- Při **autotermním** zplyňování musí být do reaktoru přiváděn kyslík, aby docházelo k potřebným spalovacím exotermním reakcím, které pokrývají potřebu tepla pro zplyňování. Nejčastěji je používán vzdušný kyslík, což má ale za následek naředění produkovaného plynu dusíkem ze vzduchu a tedy i snížení obsahu výhřevných

složek. Výhřevnost plynu se při autotermním zplyňování vzduchem pohybuje v rozmezí 2,5–8,0 MJ/m³. Naředění generátorového plynu dusíkem při autotermním zplyňování se dá předejít použitím čistého kyslíku, což ale znamená i zvýšení investičních a provozních nákladů na jeho výrobu. Pro pokrytí tepelných nároků bývá v reaktoru spáleno přibližně 20–25 hm. % paliva.

- Při **alotermním** (nepřímém) zplyňování je produkován plyn o vyšší výhřevnosti (až 14 MJ/m³) a se širšími možnostmi využití. Nevýhodou je nutnost zajistit přísun tepla, což vyžaduje složitější zařízení s vyššími investičními náklady. Zplyňovacím médiem při alotermním zplyňování bývá vodní pára. Přísun tepla pro alotermní zplyňování bývá zajištěn předehřevem zplyňovacího média a paliva, otopem stěn reaktoru nebo přenosem tepla inertním materiálem (např. pískem) přímo do reaktoru. V následující tabulce (Tabulka 22) jsou uvedeny příklady výhřevnosti a složení plynu ze zplyňování vzduchem, čistým kyslíkem s vodní párou (autotermní procesy) a zplyňování samotnou vodní párou (alotermní proces). [14]

	Zplyňování vzduchem (autotermní)	Zplyňování parokyslíkovou směsí (autotermní)	Zplyňování párou (alotermní)
Výhřevnost [MJ/m³]	4-6	12-15	12-14
H₂[%]	11-16	25-30	35-40
CO[%]	13-18	30-35	25-30
CO₂[%]	12-16	23-28	20-25
CH₄[%]	3-6	8-10	9-11
N₂[%]	45-60	<1	<1

Obrázek 22 Výhřevnost a složení plynu u jednotlivých typů zplyňování [14]

Využití produktů zplyňování

Produktů technologie zplyňování lze využít pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Elektrickou energii a teplo je možné vyrábět z generátorového plynu v tepelných strojích, tj. v plynovém motoru a plynové turbíně, nebo v palivových člancích. Možnost využití jednotlivých zařízení závisí primárně na čistotě a tlaku plynu. Při použití plynového motoru jsou na čistotu plynu kladeny výrazně nižší požadavky než při použití plynové turbíny nebo vysokoteplotního palivového článku. [14]

Výhody zplyňování proti přímému spalování za účelem výroby tepla a elektrické energie (při kogeneraci) [16]

- Dosažení větší konverze paliva na elektrickou energii (vyšší teplotní modul).
- Úspora primárních paliv na jednotku výkonu.
- Nižší měrné provozní náklady na jednotku výkonu.
- Zmenšení technologického zařízení na jednotku výkonu.
- Převodění tuhého paliva s velkým měrným objemem na plynné palivo.
- Snadnější odstraňování hlavních škodlivin v plynné fázi.
- Při spalování čistých plynných paliv s dostatkem vzduchu nevznikají tuhé emise.
- Možnost dosažení vyšších teplot spalováním plynných paliv.
- Rovnoměrný ohřev velkých ploch plynnými palivy.

- Lepší regulace při spalování plynných paliv.
- Plynná paliva se dají přímo spalovat v tepelných strojích.
- Snížení produkce CO₂, SO₂.

„Nevýhodou zplyňování je však nutnost čistit generátorový plyn, hlavně od dehtů, a vyšší investiční náklady, jejichž význam s ohledem na současnou dotační politiku EU je ale znatelně nižší. [14]

Jednotlivé typy zplyňovacích generátorů

Zplyňovací reaktory, též zvané generátory, je možné typově dělit podle mnoha hledisek. Každý typ generátoru v důsledku jiných podmínek, které v něm panují, produkuje plyn o rozdílném složení, obsahu znečišťujících látek a teplotě.

Zplyňovací generátory dělíme následovně [14]:

podle technologického principu:

- generátory se sesuvným ložem (fixed bed)
- generátory s fluidním ložem (fluidized bed)
- hořákové generátory (entrained flow)

podle tlakových poměrů:

- atmosférické
- tlakové

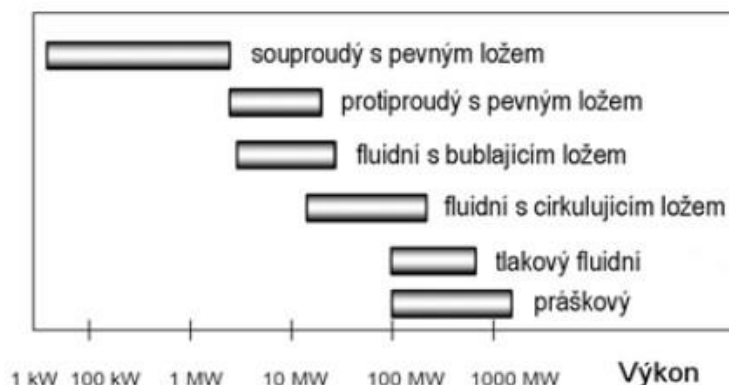
podle směru proudění materiálových proudů:

- souproudé
- protiproudé

podle formy odváděného popela:

- v tuhé formě
- ve formě strusky

Každý typ generátoru se také hodí pro jiné výkonové měřítko. Orientační výkony jednotlivých generátorů jsou uvedeny na následujícím obrázku (Obrázek 23):



Obrázek 23 Orientační výkon různých zplyňovacích generátorů [13]

7.2.3 Spalování

Spalováním biomasy (biopaliv) získáváme energii ve formě tepla vázaného na vodič (voda, pára). Na rozdíl od spalování fosilních paliv, hlavního zdroje CO₂, při spalování biomasy (ať už jde o dřevo energetické kultury či jiná biopaliva) se do ovzduší uvolňuje jen takové množství škodlivého CO₂, které bylo do rostliny akumulováno fotosyntézou v průběhu jejího růstu. Toto velmi důležitá vlastnost biomasy ji vedle využívání ostatních obnovitelných zdrojů energie (energie z větru, vody a jiné...) staví do pozice vhodného paliva při boji se znečišťováním atmosféry. Oxid uhličitý je totiž jednou z hlavních složek skleníkových plynů vytvářejících ozonové díry. [1]

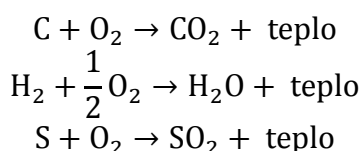
Mezi biomasu využitelnou k palivářským účelům řadíme zejména dřevnaté a stébelnaté materiály.(palivové dřevo, brikety, pelety, spalitelné obilí atd.)

Proces spalování [1]

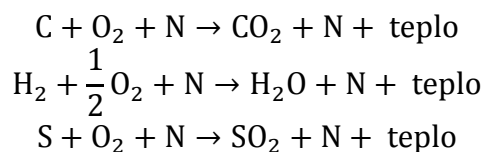
Proces spalování probíhá ve čtyřech fázích:

- **sušení**-v této fázi se materiál zahřívá a z paliva se odstraňuje vlhkost
- **pyrolýza**- po dosažení zápalné teploty se za přístupu vzduchu začíná organický materiál rozkládat na hořlavé plyny, destilační produkty a zuhelněný zbytek,
- **spalování plynné složky**- dochází k postupnému hoření plynné složky, které prodlužuje plamen a zvyšuje teplotu plynných
- **spalování pevných složek**- poslední fáze, kdy při dostatečném přístupu kyslíku dohořívají pevné látky, vzniká oxid uhelnatý a ten dále oxiduje na oxid uhličitý

V průběhu spalování dochází k chemickým pochodům, při kterých se uvolňuje teplo. Tyto reakce, při kterých se slučují hořlavé prvky v hořlavině paliva s kyslíkem, se označují za reakce exotermické:



Tyto reakce platí jak pro tuhá tak pro kapalná paliva. Ve skutečném ohništi se však nevyskytuje samostatný kyslík ale vzduch, který kromě kyslíku obsahuje také dusík. Na levou stranu rovnice mezi prvky vstupující do reakce tedy přibude dusík, který se reakcí neúčastní, ale přechází jako balastní složka do odpadních kouřových plynů nebo se slučuje s kyslíkem na škodlivé složky NO a NO₂. Po úpravě pak dostáváme tyto reakce:



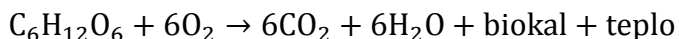
7.3 Biochemické přeměny biomasy (mokrý procesy)

Zpracovávání vlhkého organického odpadu pocházejícího ze zemědělství, lesnictví, komunálního hospodářství a venkovských krajín biochemickými technologiemi zastává hned tři důležité funkce. Slouží k získávání energie, produkuje kvalitní organická hnojiva a napomáhá ke zlepšování životního prostředí. Do této skupiny přeměn biomasy se řadí tři technologie lišící se svojí podstatou. Jde o aerobní, anaerobní a alkoholovou fermentaci.

7.3.1 Aerobní fermentace

Fermentace je technologie, kdy za přístupu vzduchu a působení vhodných kultur mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek. Při tomto procesu zůstává významné množství biomasy ve formě stabilizovaného substrátu, který se intenzivně sám zahřívá. Příkladem aerobní fermentace je výroba kompostu. U klasického kompostování například na zahradách trvá tento proces řádově až měsíce, zatímco velkokapacitní průmyslová aerobní fermentace trvá v řádech týdnů (cca. 2 až 3). Na začátku aerobní fermentace dojde ke zvýšení teploty až na 70 °C, což je doprovázeno rychlou degradací organické hmoty, uvolňuje se oxid uhličitý CO₂ a odpařuje se voda. V průběhu a při převrstvování vznikají ovšem emise pachových látek a plynů jako jsou metan CH₄ a amonium NH₄ (nežádoucí skleníkové plyny).

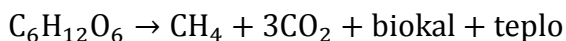
Energetickým výstupem procesu je tedy teplo. Dále se získává hnojivý substrát (kompost). [16] [17]



7.3.2 Anaerobní fermentace.

Anaerobní fermentace, někdy také nazývána metanové kvašení, je technologie přeměny vlhké biomasy (hnůj, vlhké organické odpady), která na rozdíl od aerobní, probíhá za nepřístupu vzduchu v uzavřených vzduchotěsných prostorech. Dochází také k odbourání velkého množství organické sušiny a materiál se sám o sobě zahřívá jen málo. [16] [17]

Anaerobní fermentaci popisuje rovnice:



Jedná se o složitý, několikastupňový proces fyzikálních, biofyzikálních a chemických procesů, na jejichž konci působením metanogenních, autotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů dostáváme energetický výstup ve formě bioplynu a zbytkový fermentovaný materiál. Celý proces lze pro vysvětlení rozdělit do 4 fází, také viz Schéma 1. [16] [17]

1. fáze- **HYDROLÝZA**- Nastává enzymatický rozklad měnící polymery na jednodušší organické látky. Tato fáze probíhá v době, kdy prostředí ještě obsahuje vzdušný kyslík. Hydrolitické mikroorganismy nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Předpokladem je dostatečný obsah vlhkosti-nad 50 % hmotnostního podílu. [1]

2. fáze- **ACIDOGENEZE**- Fáze kdy nastává vytvoření anaerobního prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují i v prostředí se zbylým kyslíkem obsaženým v materiálu vstupujícím do této fáze. Vzniká zde oxid uhličitý CO_2 , vodík H_2 a kyselina octová CH_3COOH , umožňující metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Dále vznikají jednodušší organické látky jako vyšší organické kyseliny a alkoholy. [1]
3. fáze- **ACETOGENEZE**- Zde se transformují vyšší organické kyseliny na CH_3COOH , CO_2 a H_2 . [1]
4. fáze- **METANOGENEZE**- Fáze 5 krát pomalejší než předchozí tři, při které autotrofní bakterie rozkládají kyselinu octovou CH_3COOH na metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2 . Dále zde hydrogenní bakterie produkují metan z vodíku oxidu uhličitého. [1]

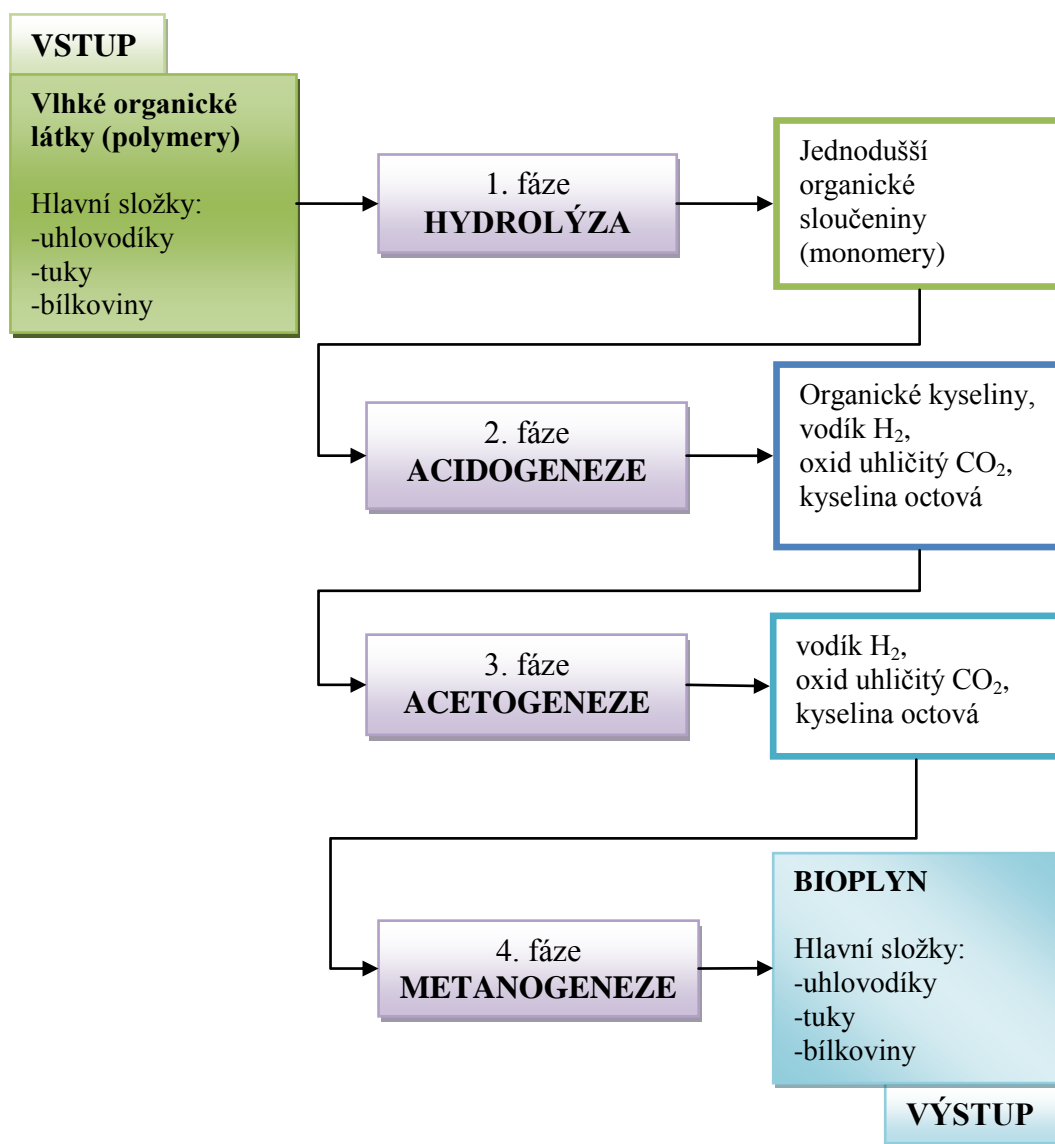


Schéma 1 fáze anaerobní fermentace

Rozlišují se 2 druhy technologií :

- **Mokrá fermentace**- obsah sušiny použitého materiálu max. 12 %
- **Suchá fermentace**- obsah sušiny použitého materiálu 20 až 60 %

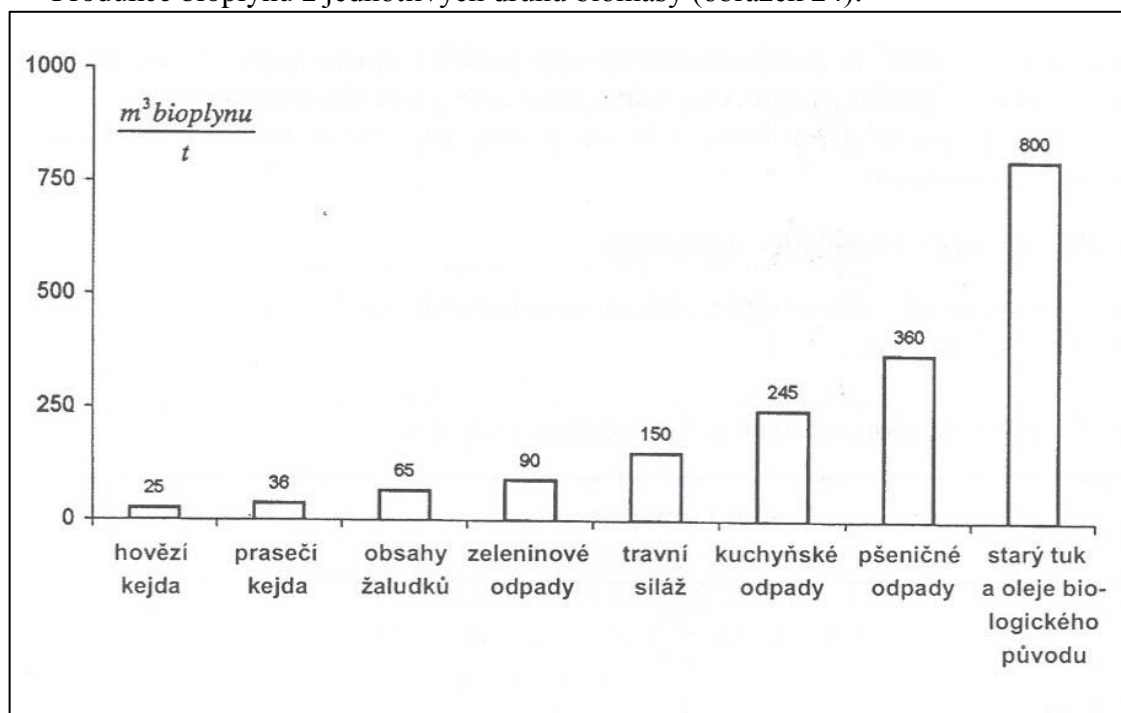
Teplotní pásma, při kterých probíhá metanogenní proces se dělí do tří oblastí [1]

- **Psychrofilní**- při provozní teplotě v reaktorech $< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, v tomto teplotním pásmu vzniká bioplyn s vyšším obsahem metanu avšak s nízkou intenzitou.
- **Mezofilní**- probíhají za provozní teploty v reaktorech $35\text{ až }40\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejčastěji používané teplotní pásmo
- **Termofilní**- reakční teplota $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, produkovaný bioplyn je chudší na metan, plyn však vzniká s vysokou intenzitou. Tento proces je ale velice labilní a vyžaduje přesnou regulaci teploty

Biomasa využívaná pro výrobu bioplynu anaerobní fermentací [18]

- Exkrementy hospodářských zvířat (keřda, trus, hnůj, močůvka, hnojůvka, podestýlka, ...).
- Fytomasa - siláže, senáže, vybrané části rostlin, vybrané druhy energetických rostlin, ekonomicky neprodejné produkty (např. nezkrmené zbytky krmiv, apod.).
- Odpady ze zpracovatelského a potravinářského průmyslu (mlékáren, jatek, lihovarů, cukrovarů, ...).
- Specifické a speciální odpady (např. bioodpady z chemické výroby, masokostní moučka, ...).
- Tříděné domovní a komunální odpady (biofrakce).

Produkce bioplynu z jednotlivých druhů biomasy (obrázek 24):



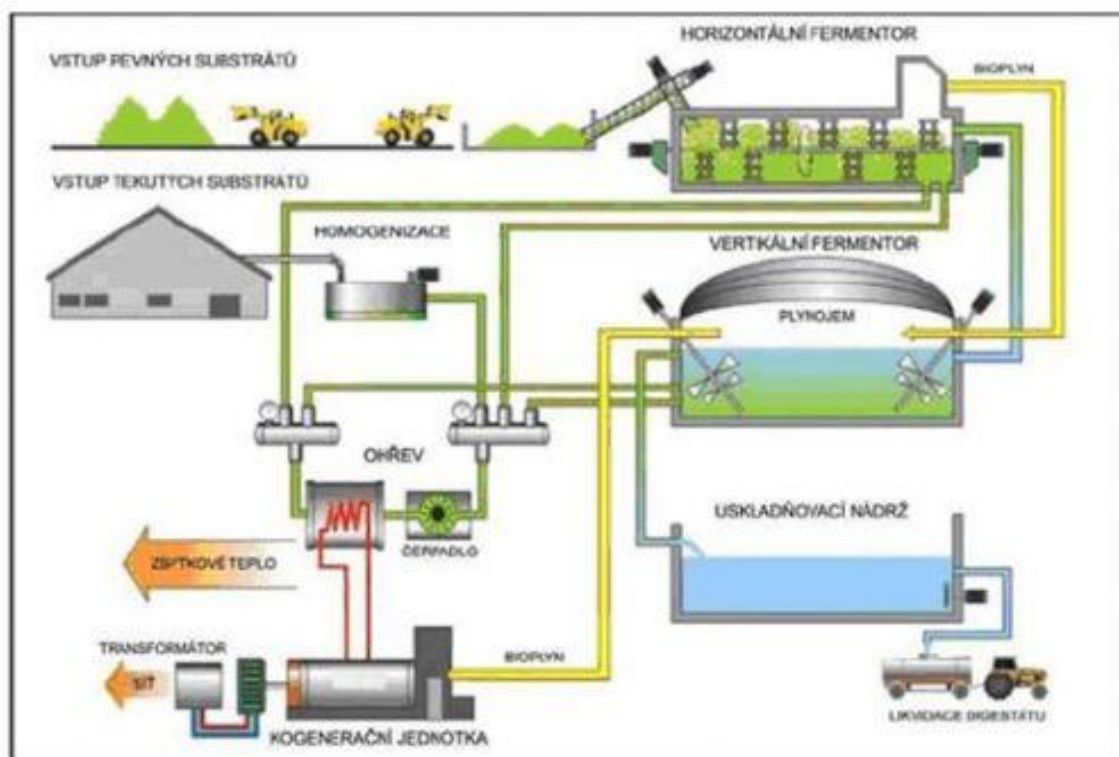
Obrázek 24 Produkce bioplynu z jednotlivých druhů biomasy [16]

Obsah Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci [1]

- malý obsah anorganického podílu.
- organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.
- optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 až 25 %, v případě tekutých odpadů 8 až 14 %. Absolutní hranici, při které ještě probíhá anaerobní fermentace, je 50 % sušiny.
- Významným faktorem je číslo pH (kyselost nebo zásaditost materiálu). Za optimální hodnotu na vstupu do procesu se považuje interval blízký hodnotě neutrálního pH tedy 7,8 až 8. V praxi se hodnota pH vstupního materiálu upravuje homogenizací materiálu nebo alkalickými přísadami.
- Významným parametrem je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek v materiálu. Za optimální se považuje pásmo kolem 30:1. Vysoký obsah dusíkatých látek se může projevit negativně na složení plynu. Mezi materiály s vysokým obsahem dusíku N se patří exkrementy všech hospodářských zvířat, opačný případ vysoký obsah C mají materiály rostlinného původu. Optimálního poměru se dosahuje míšením různých materiálů.

Zařízení na výrobu bioplynu

Bioplyn se vyrábí v tzv. bioplynových stanicích (Obrázek 25). Strojní linka bioplynových stanic pro anaerobní fermentaci organických materiálů může mít mnoho variant podle toho, jaký materiál a jak je zpracováván.



Obrázek 25 Schéma bioplynové stanice s kombinovanou technologií výroby bioplynu.[23]

Proces výroby bioplynu se skládá ze tří systémů:

1. **Příjmový systém**
2. **Fermentační systém**
3. **Uskladňovací systém**

1. **Příjmový systém** [1]

Od zdroje organických materiálů (kravíny atd.) se biomasa dopravuje do skladovacích prostor. Tuhé materiály putují do příjmových skladovacích zásobníků, kapalné do příjmových jímek. Z toho materiálu se úpravami (úprava velikosti částic, homogenizace, ředění aj.) připravuje čerstvý substrát před jeho vstupem do fermentoru. Dávkování materiálu do fermentoru:

- **kontinuální**- plnění fermentorů tekutými odpady s velmi malým obsahem sušiny
- **semikontinuální**- doba mezi jednotlivými dávkami je kratší, než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Nejpoužívanější způsob plnění, dávkování 1krát až 4krát denně. Toto plnění má malý vliv na změnu provozních parametrů (teploty, homogenity)
- **diskontinuální**- dávkování probíhá přerušovaným provozem. Fermentor se naplní, proběhne celý proces fermentace a poté dochází k dalšímu plnění. Používá se u tuhých materiálů.

2. **fermentační systém** [1]

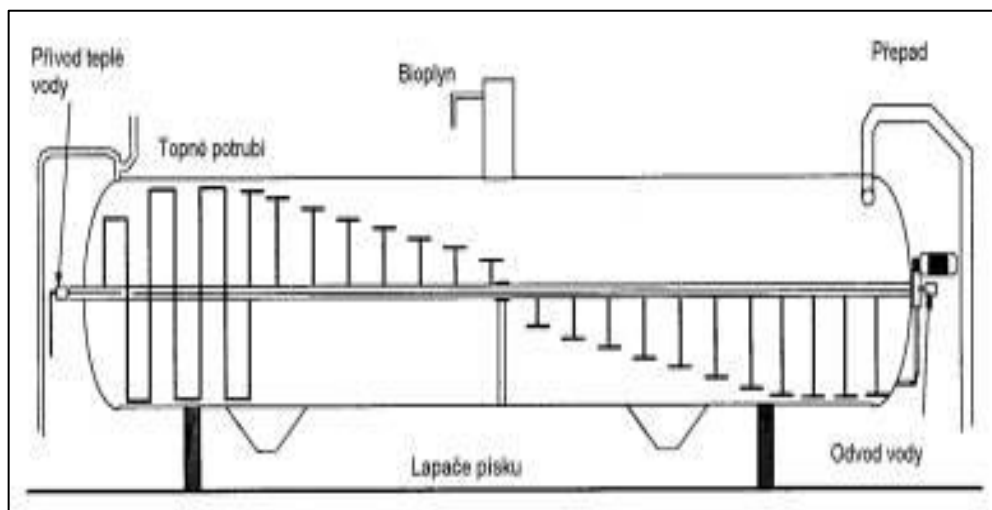
Zde dochází k anaerobní fermentaci materiálu v reaktorech (fermentorech), které mohou být nadzemní podzemní či částečně zapuštěné v terénu. Dle podílu vlhkosti zpracovávaného materiálu rozlišujeme fermentační systémy na:

- **bioplynové technologie na zpracování tuhých materiálů**
- **bioplynové technologie na zpracování tekutých materiálů**
- **bioplynové technologie kombinované**

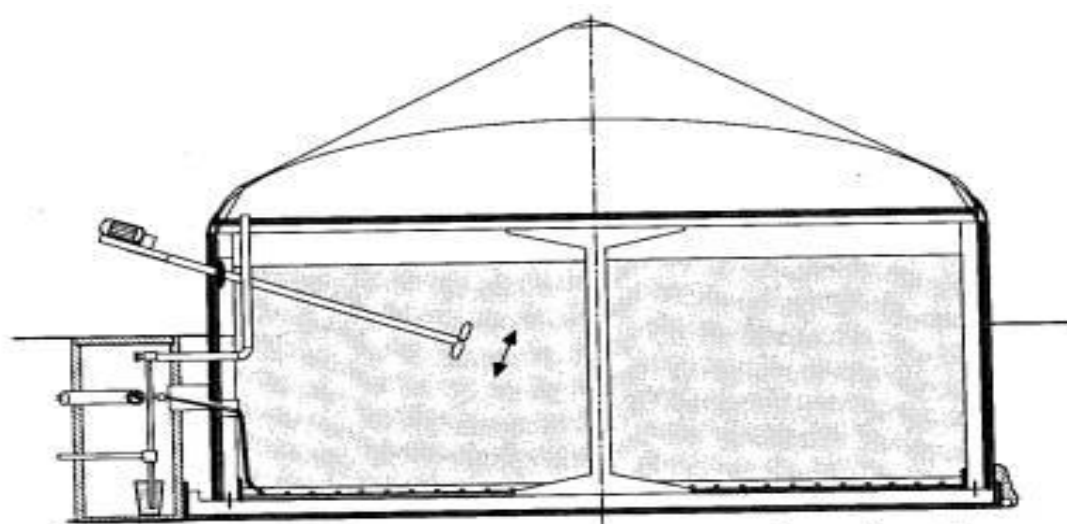
,které se liší typem reaktorů, kde dochází k procesu fermentace, dávkováním a uskladňováním vstupního materiálu a fermentovaného substrátu.

Anaerobní reaktory na tekutý materiál [1]:

- **laguna**- nejjednodušší zařízení a způsob zpracování organického materiálu. Provozní teploty leží v psychrofilním pásmu.
- **reaktory hranolovité pravoúhlé**- jsou konstruovány v podobě žlabu nebo zakryté jímky hranolovitého tvaru.
- **reaktory válcové** (Obrázek 26, 27)- konstruovány buď se svislou osou válce (velké objemy, větší pevnost), nebo horizontální osou válce (malé objemy)
- **reaktory kulové**- někdy taky polokulové pro reaktory realizované pod zemí.



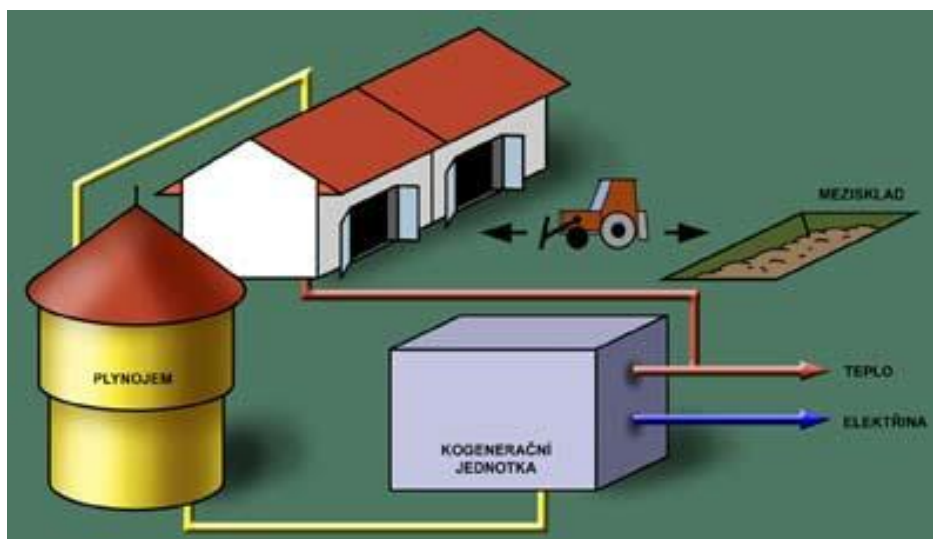
Obrázek 26 Válcový reaktor s horizontální osou [20]



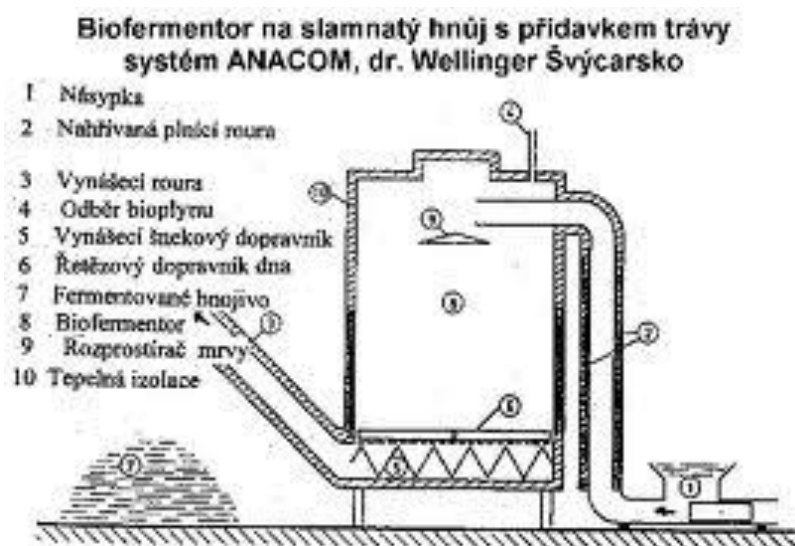
Obrázek 27 Válcový reaktor se svislou osou [20]

Anaerobní reaktory na tuhý materiál [1]:

- **válcové fermentory typu „fermentační koš + krycí zvon-** materiál je ve tvaru komolého kužele a je přiklopen vzduchotěsným kovovým víkem.
- **fermentory garážového typu** (Obrázek 28)- fermentor připomínající garáž (zděná komora), s plynotěsnými vraty. Doprava zpracovávaného materiálu do komor a z nich je zpravidla prováděna běžnou manipulační technikou (např. traktor s radlicí). Anaerobní proces je řízen dávkováním procesní tekutiny. Proces je diskontinuální - vyprázdnění a nové naplnění komory + start reakce
- **věžové kontinuální fermentory** (Obrázek 29)- válcová nádrž se svislou osou. Plnění probíhá kontinuálně. Materiál se přivádí shora vyhřívanou rourou a zespod je odváděn fermentát šnekovým dopravníkem. V horní části je situován odvod plynu z fermentoru.



Obrázek 28 Výroby bioplynu v garážovém fermentoru s diskontinuálním plněním [19]



Obrázek 29 Věžový fermentor [19]

3. Uskladňovací systém

Zde se zabýváme odvodem vyrobeného plynu a fermentačního zbytku. Vyrobený bioplyn putuje potrubím do plynových zásobníků tzv. plynojemů. Ty mohou být válcovité nebo kulovité.

Stabilizovaný materiál po fermentaci (tzv. fermentační zbytek nebo také digestát/fermentát) je nutné uskladňovat v souladu se zásadami správné zemědělské praxe. V případě, že je fermentační zbytek separován na tuhou frakci (sušina ≈ 25 až 35 %) a kapalnou fází/fugát (sušina < 1 %) je nutné koncipovat uskladňovací systém pro obě frakce.

Tuhá frakce se běžně uskládá na stávajících hnojištích nebo vodohospodářsky zabezpečených plochách. Fugát (sušina < 1 %) resp. neseperovaný fermentační zbytek (sušina ≈ 4 až 10 %) se uskládá ve vhodně dimenzovaných jímkách.

Separční zařízení (kalolis, odstředivka, centrifuga, apod.) bývá osazováno např. z důvodu záměrného využití fugátu pro ředění čerstvého substrátu na požadovanou

procesní sušinu nebo v případě zvláštních technologických požadavků farmy. Vlivem recirkulace fugátu se úměrně snižuje potřebná velikost uskladňovací jímky a snižuje spotřeba ředící vody. Je ovšem potřeba pravidelně kontrolovat obsah dusíku v recirkulovaném fugátu, a to z důvodu zamezení inhibičním vlivům na anaerobní proces.[19]

Bioplyn

Obecně je to souhrnný název pro všechny druhy plyných směsí, které vznikly činností mikroorganismů. Všechny druhy bioplynů anaerobního původu tedy vznikají stejným způsobem, ať už metanogenní proces probíhá pod povrchem země, v zažívacím traktu živočichu, ve skládkách komunálního odpadu či v řízených anaerobních reaktorech. V technické praxi se tento výraz používá hlavně pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací vlhkých organických materiálů v umělých technických zařízeních.[1]

Kromě těchto se vyskytují ještě další typy bioplynů, které můžeme dle jejich původu či místa vzniku rozdělit na [1]:

- Zemní plyn- vzniklí anaerobním rozkladem biomasy nahromaděné v dávných dobách. Je energeticky nejhodnotnější, obsahuje 98 % metanu
- Důlní plyn- původ vzniku obdobný jako u zemního plynu, nemá však energetické využití. Při smíšení se vzduchem tvoří výbušnou směs.
- Kalový plyn-vzniklí anaerobním rozkladem organických usazenin v přírodních i umělých vodních nádržích, které se pravidelně nečistí.
- Skládkový plyn- Skládky obsahují velké množství organického odpadu, ze kterého za vhodných podmínek může po mnoho let anaerobní fermentací vznikat skládkový plyn.

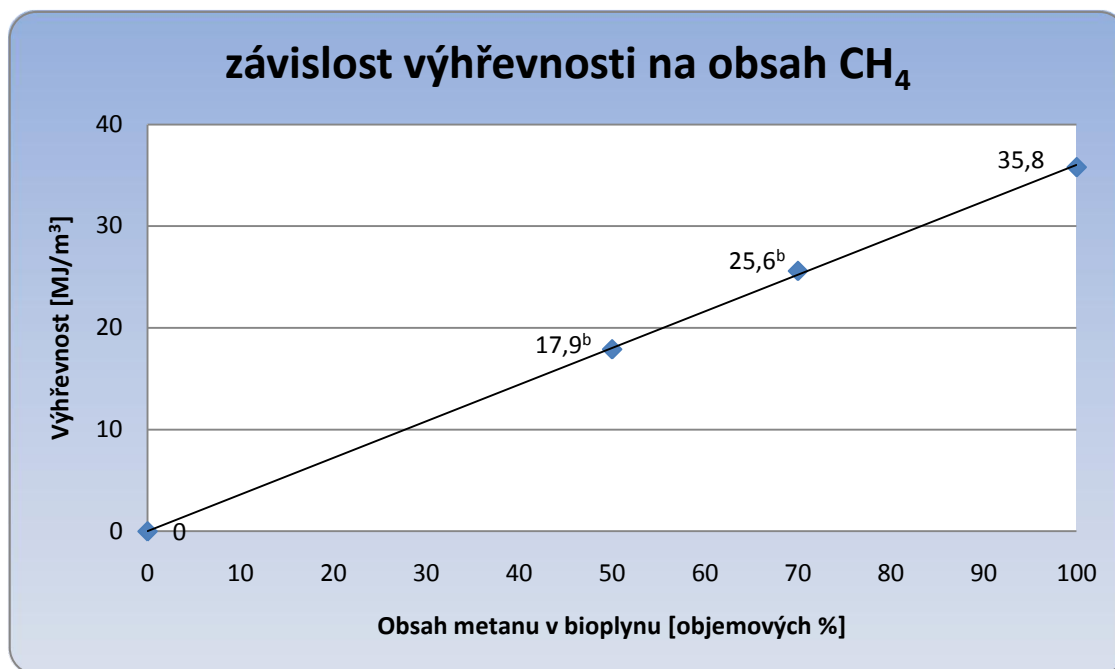
Složení:

Majoritními látkami v bioplynu jsou metan a oxid uhličitý. Obsah metanu se zpravidla pohybuje v rozmezí od 50 až do 75%. V ideálním případě ho dolní 25 až 50 % oxidu uhličitého. V reálu je však bioplyn doplněn o početné množství minoritních plynů, které ovšem tvoří jen malé objemové procento. Tyto příměsi mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků ve vstupním materiálu nebo poruchy v průběhu anaerobní fermentace. [1]

- **Vysoký obsah oxidu CO_2** - nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci.
- **Přítomnost kyslíku O_2** - možnost zavzdušnění pracovního prostoru. Nebezpečný stav, možnost tvorby výbušné směsi s metanem.
- **Stopy vodíku H_2** - narušení rovnováhy mezi acidogenní a metanogenní fází, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem. Nezpůsobuje ovšem zhoršení energetické kvality plynu.
- **Stopy oxidu uhelnatého CO** - svědčí o vzniku ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. Nebezpečí hlavně na skládkách komunálního odpadu.
- **Obsah sulfanu H_2S** - Vysoký obsah sulfanu působí potíže při konečném využití bioplynu

Výhřevnost

Hodnota výhřevnosti je ovlivněna obsahem metanu CH_4 . Tuto závislost ukazuje Graf 2. Vliv ostatní majoritních plynů na výhřevnost je zanedbatelný.



Graf 2 Závislost obsahu metanu v bioplynu na jeho výhřevnosti [1]

^b V tomto rozmezí zpravidla pracují bioplynové stanice

Mez zápalnosti

U směsi metanu se vzduchem je to 5 až 15 % objemových, tato koncentrace metanu již tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je dána zápalnou teplotou metanu tedy 650 až 750 °C. [1]

Energetické využití bioplynu [19]:

obecně lze využívat BP mnoha způsoby, např.:

- Výroba tepla v teplovodních (horkovodních) resp. parních kotlích
- Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) v kogeneračních jednotkách (různé principy)
- Čištění BP a jeho prodej do plynárenské sítě resp. provozovatelům jiných energetických systémů (CZT, průmyslové teplárny, apod.)
- Čištění a jeho využití pro pohon dopravní techniky a automobilů, apod.

Ekologické přínosy výroby a využití bioplynu [21]**Zemědělství**

- menší ztráty organických látek
- lepší využívání organických živin
- tvorba humusu
- podpora uzavřeného koloběhu látek
- stabilita půdní reakce
- zvýšená biologická činnost

- zlepšení jímavosti vody
- menší zaplevelení
- lepší úrodnost
- vyšší kvalita produktů rostlinné výroby
- nižší potřeba průmyslových hnojiv
- snížení zápachu z velkochovů

Lesnictví

- snížení kontaminace ovzduší SO₂, NO_x
- snížení spadu kyselých dešťů
- snížení odumírání lesních dřevin
- Hlavní způsoby využití biomasy anaerobní fermentací

Energetika

- nižší nároky energie na výrobu průmyslových hnojiv
- nižší nároky energie na výrobu biocidů
- využívání energie z bioplynu

Zdravotnictví

- zlepšování čistoty ovzduší
 - odstraňování zápachů
 - odstraňování škodlivého nebo nepříjemného hmyzu (much) a patogenních mikroorganismů
- zlepšování kvality vody
 - snižování obsahu dusičnanů
 - dosahování lepší čistoty
 - snižování patogenních mikroorganismů
 - zvyšování živin ve vodě k tvorbě biomasy
- zlepšování kvality potravin
 - lepší využívání živin z půdy
 - omezování luxusního příjmu
 - snížení obsahu dusičnanů v krmivech i v potravinách

Průmysl

- snížení potřeby výroby průmyslových hnojiv
- zvýšení výnosů plodin pro potravinářský průmysl
- snížení potřeby výroby pytlů
- snížení dopravy hnojiv a biocidů
- snížení potřeby nafty.

7.3.3 Alkoholová fermentace

Alkoholová fermentace (resp. alkoholové kvašení) probíhá v mokré prostředí bez přístupu vzduchu. Výsledným produktem alkoholového kvašení je etanol. Výchozími surovinami jsou materiály obsahující cukr, škrob příp. celulózu tedy např. cukrová řepa, obilí, kukuřice, brambory a ovoce. Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého alkoholu. Suroviny obsahující cukr (cukrovka, cukrová třtina) se pro výrobu etanolu rozmělnují, párou se extrahuje cukerný roztok a ten se fermentuje. K fermentaci cukrů se používá kvasnic (1 až 2,5 kg na 100 l) a kvašení probíhá 50-70 hodin. Destilací při 78 °C získáme vodu a 95% etanol. U surovin obsahujících škrob (obilí, brambory) je třeba tento škrob nejdříve rozložit na zkvasitelné cukry. K tomuto účelu slouží kyselá

hydrolyza. Ve výpalcích zůstává obsah bílkovin zachován. To znamená, že vedlejší produkt výroby je vysoce hodnotné krmivo.[16]

V praxi se energetická výtěžnost etanolu pohybuje od 90 % do 95 %, protože kromě alkoholu vznikají další produkty, např. glycerín. Vzniklý alkohol se používá jako palivo pro spalovací motory. Nevýhodou alkoholu jako paliva je schopnost vázat vodu a tím způsobit korozi motoru. Z tohoto důvodu je třeba přidávat do alkoholu antikorozní přípravky.[17]

druh	škrob/cukr v % čerstvé hmoty	Výnos [t/ha]	výtěžnost etanolu [l/t]
řepa krmná	9,7	90	59
řepa cukrová	16	30 až 50	90 až 100
brambory	18	20 až 30	100 až 120
kukuřice zrno	60	4 až 8	360 až 400
kukuřice na zeleno	11	47	67
Pšenice	62	2 až 5	370 až 420
ječmen	52	2 až 4	310 až 350
žito	55,5	3 až 5	36
Proso zrno	70	2 až 5	330 až 370
čirok zrno	70	1 až 6	340
Maniok	28	12 až 15	175 až 190
Topinambur (druh byliny)	17	20 až 40	77

Tabulka 14 potenciál vybraných druhů při výrobě etanolu [16]

7.4 Fyzikálně mechanické procesy

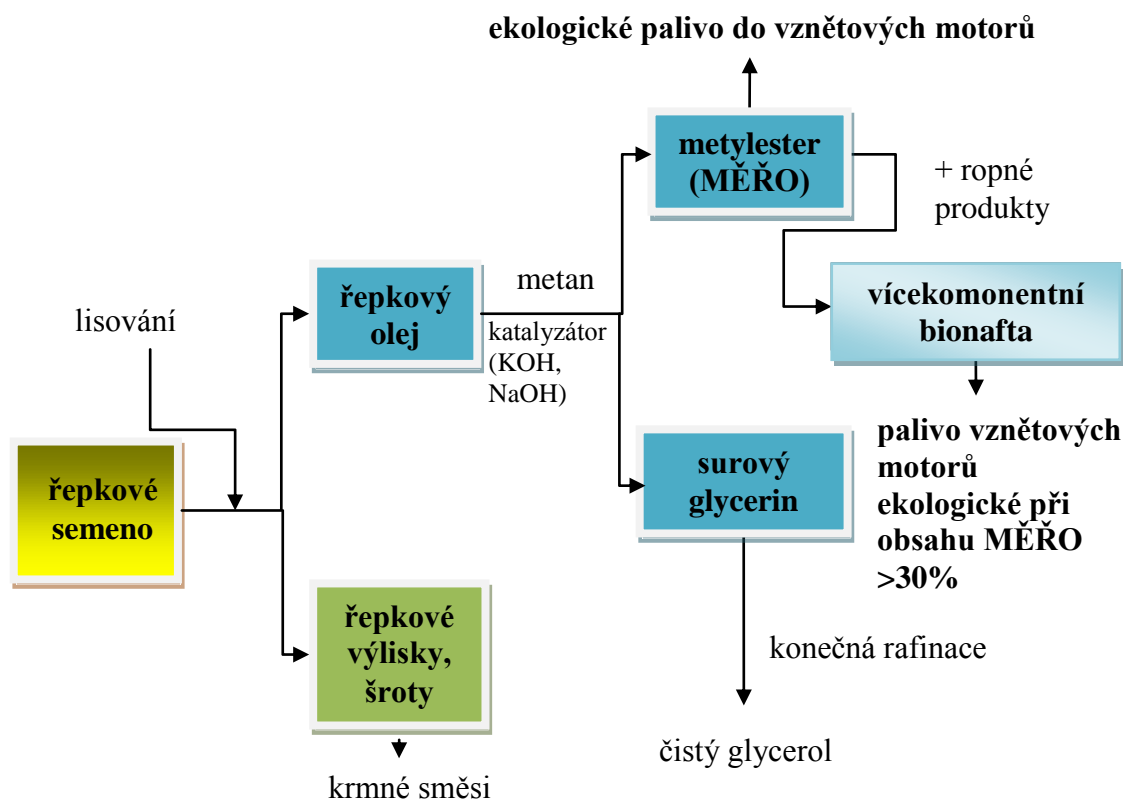
Fyzikálně chemickými procesy se získávají kapalná biopaliva. Lisováním se z olejnin získává olej a následnou esterifikací oleje se získává látka s vlastnostmi podobnými motorové naftě tzv. bionafta.

7.4.1 Esterifikace

Technologie, při které se esterifikací přírodních olejů a tuků metanolem a za přítomnosti alkalických katalyzátorů (NaOH, KOH), vyrábí bionafta. Při esterifikaci se z triglyceridu (u nás výhradně řepkový olej) postupně uvolňují acylové zbytky, které se váží na methanol. Vedle metylesteru mastné kyseliny se uvolňuje glycerol, který se uvolní z reakční směsi jako spodní, těžší fáze. [16]

Popis procesu (Schéma 2)

Nejdříve se ze semen olejnin lisuje olej, který jde dále do strojní linky, která je tvořena míchačkou pro triglycerid, provozovanou za normálního tlaku a teploty (event. s přehřevem na 60-80 °C), míchačkou pro směs alkohol - katalyzátor s rekuperátorem procesního tepla, usazovací nádrží pro těžkou glycerinovou fází, odpařovač alkoholu pro jeho regeneraci z lehké esterové fáze tvořící se při reesterifikaci, propírací a sedimentační nádrží pro bionaftu zbavenou zbytků alkoholu, vysoušeč promyté esterové fáze a kondiční stupeň před uskladněním, event. expedici bionafty.[16]



MĚŘO- metylester řepkového oleje

Schéma 2 Postup výroby bionafty

8 Závěr

Tato práce, zabývající se energetickým využitím biomasy, obsahuje 7 kapitol. V prvních kapitolách je definován pojem biomasa, je zde vysvětlena a popsána podstata jejího vzniku působením slunečního záření a také přiblížen koloběh uhlíku v naší atmosféře. Tyto kapitoly mají pomoci přiblížit a pochopit základní princip ukládání energie v biomase a také důležitou vlastnost vstřebávání vzdušného oxidu uhličitého CO_2 a produkce kyslíku O_2 . Nápomocné mohou být také při vytváření optimálních podmínek pro pěstování biomasy. Pro to je jim věnována značná pozornost.

Další kapitoly se již zabývají energetickým využitím biomasy. Biomasa vhodná pro energetické využití se dá rozdělit do dvou skupin tedy biomasa odpadní a biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely. Mezi biomasu odpadní patří hlavně odpady z lesnictví, zemědělství, polnohospodářství a průmyslových provozů včetně odpadů z čistíček odpadních vod. Zpracovávání této odpadní biomasy má kromě získávání energie také velkou úlohu v ochraně a zkvalitňování životního prostředí, jelikož se ekologicky zbavujeme odpadů, které by jinak produkovali škodlivé plyny tzv. skleníkové plyny, znečišťovaly ovzduší zápachem nebo kontaminovaly půdu a podzemní vodu. Záměrné pěstování biomasy má pak hlavně za úkol její rychlou produkci, využívání ploch, které se nehodí pro pěstování potravinářských plodin a

produkci žádaných druhů energetických plodin. Módním trendem je pěstování řepky pro produkci biooleje, jako ekologického paliva naftových motorů v automobilech.

Poslední část práce se zabývá technologiemi přeměny biomasy. Popsány jsou mechanické úpravy biomasy, peletování a briketování, termochemické, fermentační a chemicko-mechanické procesy. Z termochemických procesů pyrolýzy, zplyňování a spalování je nejpoužívanější metodou přeměny biomasy spalování a to pro svoji jednoduchost, relativně nízké pořizovací náklady na zařízení, snadnou automatizaci procesů a jednoduché skladování paliva. Spalování se používá k výrobě tepla vázaného na nosič. Můžeme tak realizovat vytápění budov či získávat rekuperací teplo a elektrickou energii. U mokrých procesů, do nichž patří aerobní, anaerobní a alkoholová fermentace, hodnotím jako velice přínosnou technologii anaerobní fermentace, jelikož jde o jediný způsob jak ekologicky zpracovávat vlhké organické odpady. Touto technologií se nejen získává velice energeticky hodnotný bioplyn, ale také se zpracovává organický odpad a tím dochází k ochraně a zlepšování životního prostředí.

Technologií přispívající k ochraně životního prostředí je také esterifikace bioolejů, tedy výroba bionafty, čímž se snižují emise z automobilové dopravy.

Velikým problémem při využívání technologií na zpracovávání odpadů jsou mnohdy jejich vysoké realizační náklady, vysoká pořizovací cena zařízení, provozní náklady a vysoká sofistikovanost tohoto zařízení. Tyto technologie pak, přesto že jsou lidem prospěšné, nemohou být rentabilně realizovány a není o ně zájem. Z toho důvodu jsou Státním programem úspor energie a využívání obnovitelných zdrojů ze státních fondů dotovány.

Obnovitelné zdroje, tedy i využívání biomasy, nebude patřit mezi majoritní vysokopotencionální energetické zdroje. Velký význam však mohou mít pro regionální a lokální přínos.

9 Seznam použitých pramenů

- [1] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. *Biomasa obnovitelný zdroj energie : obnovitelný zdroj energie*. Praha : FCC PUBLIS s.r.o., 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5.
- [2] Fotosyntéza. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20.12. 2004, last modified on 4.4. 2011 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotosyntéza>>.
- [3] *Kfrserver.natur.cuni.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. Projekt koloběh uhlíku. Dostupné z WWW: <<http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/others-CZ.htm>>.
- [4] WEGER, Jan. Biomasa pro energetické účely. *Lesnická práce : časopis pro lesnickou vědu a praxi* [online]. 2003, 82, číslo 3, [cit. 2011-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/579/57/>>.
- [5] WEGER, Jan: Biomasa jako zdroj energie. *Biom.cz* [online]. 2009-02-02 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] Koloběh uhlíku. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 15.12.2007, last modified on 12.5.2011 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koloběh_uhlíku>.
- [7] *Vosvdf.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. Využití energie z biomasy. Dostupné z WWW: <<http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/489/obnovitelne-zdroje/Vyuziti%20energie%20z%20biomasy.pdf>>.
- [8] *Palivové dřevo* [online]. 2009 [cit. 2011-05-15]. Vhodné druhy dřeva. Dostupné z WWW: <<http://www.palivovee-drevo.cz/vhodne-druhy-dreva.html>>.
- [9] PŘÍHODA, Jan: Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků. *Biom.cz* [online]. 2008-06-09 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnich-zbytku>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] STUPAVSKÝ, Vladimír: Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>>. ISSN: 1801-2655.
- [11] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>>. ISSN: 1801-2655.

- [12] Pyrolýza. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2.2.2005, last modified on 10.1.2011 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrolýza>>.
- [13] POHOŘELÝ, Michael, JEREMIÁŠ, Michal: Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění . (kolektiv autorů), Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010) *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>>
- [14] Vlastnosti biomasy jako paliva. *Lesnická práce : časopis pro lesnickou vědu a praxi* [online]. 2004, Číslo 3, [cit. 2011-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/398/21/>>.
- [15] MOUDRÝ, Jan; KALINOVÁ, Jana. *Zf.jcu.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-05-15]. Energie biomasy. Dostupné z WWW: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energie_biomasy.html>.
- [16] *Ufmi.ft.utb.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-15]. Energie biomasy. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_14.pdf>.
- [17] *Bioplyn.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-05-15]. At_suroviny. Dostupné z WWW: <http://www.bioplyn.cz/at_suroviny.htm>.
- [18] SLADKÝ, Václav: Farmářské bioplynové stanice v Rakousku. *Biom.cz* [online]. 2002-01-11 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/farmarske-bioplynove-stanice-v-rakousku>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] *Bioplyn.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-05-15]. At_popis. Dostupné z WWW: <http://www.bioplyn.cz/at_suroviny.htm>.
- [20] KAJAN, Miroslav: Bioplyn z odpadů živočišné výroby. *Biom.cz* [online]. 2005-08-23 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby>>. ISSN: 1801-2655.
- [21] *Výzkumný ústav zemědělské techniky* [online]. 2006 [cit. 2011-05-15]. HLAVNÍ ZPŮSOBY VYUŽITÍ BIOMASY ANAEROBNÍ FERMENTACÍ. Dostupné z WWW: <<http://www.vuzt.cz/doc/energetika/bioplyn.pdf?menuid=184>>.
- [22] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655.
- [23] *Odpadové hospodářství města Dobrušky* [online]. 2009 [cit. 2011-05-15]. Bioplynová stanice. Dostupné z WWW: <<http://www.odpady-dobrusky.cz/kam-s-nim/bioplynova-stanice/>>.

- [24] *AGRALL zemědělská technika s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2011-05-15]. Sběrací lisy. Dostupné z WWW: <<http://www.agrall.cz/kategorie/4/sberaci-lisy>>.

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbole

H_1	hmotnost vzorku surové dřevní hmoty	[kg]
H_2	hmotnost vzorku po sušení	[kg]
W	vlhkost	[%]
W_d	vlhkost dřevařská	[%]
H_U	výhřevnost	[MJ/kg]
H_{uWF}	výhřevnost sušiny	[MJ/kg]
r	teplo potřebné k odpaření 1 kg vody	[MJ/kg]

Zkratky

RRD	rychle rostoucí dřeviny
OZE	obnovitelné zdroje energie
MĚŘO	metylester řepkového oleje